

**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO Y OPERACIÓN DE HUMEDALES
CONSTRUIDOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL PARA
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA EN PAÍSES TROPICALES.**

ALVARO DAVID MONCADA SUAZA.



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE MANIZALES
INGENIERÍA AMBIENTAL
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
MANIZALES – CALDAS
2016**

**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO Y OPERACIÓN DE HUMEDALES
CONSTRUIDOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL PARA
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA EN PAÍSES TROPICALES.**

**DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO: ALEJANDRO RINCON SANTAMARIA.
INGENIERO QUIMICO, MAGÍSTER EN INGENIERÍA -AUTOMATIZACIÓN
INDUSTRIAL, DOCTOR EN INGENIERÍA- LÍNEA AUTOMÁTICA**

OPCIÓN DE GRADO: REVISIÓN DE TEMA.

**REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL.**



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
MANIZALES – CALDAS**

2016

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Universidad Católica de Manizales, por formarme tanto intelectual, ética, y moralmente como ingeniero ambiental, a la Universidad del Valle de Atemajac, por permitirme realizar mi práctica profesional en su campus en Guadalajara, México, a todos los profesores del programa por compartir sus sabios conocimientos y experiencias que enriquecen mi vida profesional, especialmente a mi tutor Alejandro Rincón Santamaría, por su apoyo, orientación y paciencia en el desarrollo de este Trabajo de grado.

DEDICATORIA

Este Trabajo va dedicado en primer lugar a Dios por la vida, salud y protección que me concede y por permitirme culminar mis estudios de la mejor forma. A mis padres Jorge Alberto Moncada Cárdenas y Olga Suaza González, por el apoyo incondicional y las ganas que siempre me inculcaron de salir adelante, a mis hermanos Jorge Andrés Moncada Suaza, Javier Francisco Moncada Suaza y Luz Helena Moncada Suaza.

A todos mis amigos en el extranjero que estuvieron pendientes de mí y nunca me dejaron solo en el tiempo que estuve de visita o estudiando en sus países, a mis compañeros de pregrado y finalmente a todas aquellas personas de Manizales, que me abrieron las puertas de su casa, haciéndome sentir como en la mía.

CONTENIDO

RESUMEN	8
SUMMARY	9
RESUMO.....	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GENERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. METODOLOGÍA	17
3.1 Tabla 1. Fichas bibliográficas.	17
3.1.2 MAPA CONCEPTUAL DEL TEMA	19
Tabla 2. Moncada. A. 2016. Mapa Conceptual. Elaboración propia.....	19
4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES.	20
Tabla 3. Comparación entre diferentes sistemas de flujo humedal.....	20
Tabla 4 Comparación entre humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal y vertical.....	21
Tabla 5. Recopilación de ventajas y desventajas de los sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales. Adaptación de Arenas. C.2015	23
Tabla 6. Matriz comparación tratamientos biológicos de aguas residuales. Adaptación Arenas.C.2015	26
5. RECOMENDACIONES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE HUMENDALES DE FLUJO SUBSUPERFUICIAL VERTICAL.	30
5.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL.....	30
5.1.2 TIPO DE SUSTRATO EN UN HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL.....	30
Tabla 7. Características físicas y espesor recomendado del sustrato de los Humedal de flujo vertical. (Burgos, 2014).....	32
5.1.3 VEGETACIÓN RECOMENDADA PARA UN HUMEDAL DE FLUJO VERTICAL EN CLIMA TROPICAL.	32
5.1.4 CÁLCULO DEL ÁREA NECESARIA CON BASE EN CRITERIO DE CARGA ORGÁNICA SUPERFICIAL APLICADA.	37

5.1.5 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINACIÓN DE ÁREA DE LOS HUMEDALES VERTICALES BASADOS EN LA ECUACIÓN CINÉTICA DE PRIMER ORDEN	37
5.1.6 PROFUNDIDAD DEL HUMEDAL.	40
5.1.7 PENDIENTE.	40
5.1.8 CARGA ORGÁNICA SUPERFICIAL APLICADA.	40
5.1.9 CARGA HIDRÁULICA SUPERFICIAL APLICADA.	42
5.1.10 Tabla 8. Comparación de parámetros recomendados por diferentes autores.....	42
5.2 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y DRENAJE.	44
5.3 RECOMENDACIONES PARA UNA ÓPTIMA AIREACIÓN DEL MATERIAL FILTRANTE.	45
5.4 FRECUENCIA DE PULSOS.	46
5.5 RECOMENDACIONES PARA TRATAMIENTOS PREVIOS.	46
5.5.1 Trampa de grasa.....	47
5.5.2 Tanque Séptico.....	48
5.5.3 Tanque Baffled.....	48
5.5.4 Reactor UASB (Upflow Anerobic Sludge Bed Reactor).....	49
5.5.5 tanques Imhoff	49
6. DATOS DE ESTRUCTURA Y OPERACIÓN DE HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL.	50
6.1 Especie de vegetación usada en humedales de flujo subsuperficial vertical.....	50
Tabla 9. Vegetación más usada en humedales de flujo subsuperficial vertical.	50
6.2 Tipo de sustrato usado por los diferentes autores en el desarrollo de humedales de flujo subsuperficial vertical.	51
Tabla 10. Material y profundidad del lecho filtrante usados en humedales de flujo subsuperficial vertical	51
6.3 DATOS DE CARGA HIDRAULICA Y CARGA ORGANICA SUPERFICIAL APLICADA.	54
Tabla 11. Datos de operación usados en la actualidad por diferentes autores.	54
6.4 PULSOS	57
Tabla 12. Pulsos de los humedales usados por distintos autores en los últimos años.....	57
6.5 EFICIENCIA DE REMOCION.	59

Tabla 13. Eficiencia de humedales de flujo sub superficial vertical en los últimos tiempos.	59
Tabla 14. Comparación de rendimientos observados en otros HAFV	61
7. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS (RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO Y OPERACIÓN)	62
8. CONCLUSIONES.....	65
9. REFERENCIAS	66
10. ANEXOS FICHAS BIBLIOGRÁFICAS	70
Tabla 15. Ficha bibliográfica No 1	70
Tabla 16. Ficha bibliográfica No 2	71
Tabla 17. Ficha bibliográfica No 3	73
Tabla 18. Ficha bibliográfica No 4	74
Tabla 19. Ficha bibliográfica No 5	75
Tabla 20. Ficha bibliográfica No 6	77
Tabla 21. Ficha bibliográfica No 7	78
Tabla 22. ficha bibliográfica No 8.	79
Tabla 23. Ficha bibliográfica No 9	80
Tabla 24. Ficha bibliográfica No 10.....	81
Tabla 25. Ficha bibliográfica No 11	83
Tabla 26. ficha bibliográfica No 12	84
Tabla 27. Ficha bibliográfica No 13	85
Tabla 28. Ficha bibliográfica No 14.....	86
Tabla 29. Ficha bibliográfica No 15.....	87
Tabla 30. Ficha bibliográfica No 16	89
Tabla 31. Ficha bibliográfica No 17.....	90
Tabla 33. Ficha bibliográfica No 19	92
Tabla 34. Ficha bibliográfica No 20.....	94
Tabla 35. Ficha bibliográfica No 21.....	95
Tabla 36. Ficha bibliográfica No 22.....	96
Tabla 37. Ficha bibliográfica No 23	97
Tabla 38. Ficha bibliografía No 24.	99

Tabla 39. Ficha bibliográfica No 25.....	100
Tabla 40,Ficha bibliográfica No 27	101
Tabla 41. Ficha bibliográfica No 27.....	103
Tabla 42. Ficha bibliográfica No. 28.....	104
<i>Tabla 43. Ficha bibliográfica No 29.....</i>	<i>105</i>
Tabla 44. Ficha bibliográfica No. 30.....	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Cuadro conceptual.....	13
Ilustración 2. humedal de flujo vertical.....	15
Ilustración 3. Sistema de drenaje Humedal vertical.....	15
Ilustración 4. Planta Papyrus	33
Ilustración 5. Planta Bambú.	33
Ilustración 6. Planta Typha latifolia.....	34
Ilustración 7. Planta Heliconias.	34
Ilustración 8. Planta Vetiver.	35

**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO Y OPERACIÓN DE HUMEDALES
CONSTRUIDOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL PARA
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA EN PAÍSES TROPICALES.**

Álvaro David Moncada Suaza.

alvaro.moncada@ucm.edu.co

*Programa Ingeniería Ambiental
facultad de ingeniería y arquitectura
Universidad Católica de Manizales*

PALABRAS CLAVE: Material filtrante, Datos de operación, humedal de flujo subsuperficial vertical, parámetros de construcción.

RESUMEN

A través de la revisión de tema como estrategia metodológica de investigación y opción de trabajo de grado, se consultó sobre humedales de flujo subsuperficial verticales enfocada en el tratamiento de aguas residuales domesticas en países de clima tropical. Teniendo en cuenta que este tema ha sido poco estudiado, fue necesario una consulta exhaustiva de artículos en fuentes confiables y actualizadas como *Ambientalex.info*, *Proquest*, *E-brary*, *E-libro*, *Redalyc*, *Scielo* y *Google Académico*.

Una vez consultadas las diferentes fuentes de información, se seleccionaron 40 artículos, a los que se les realizó una ficha bibliográfica para sintetizar y comprender mejor su contenido académico.

Entre los artículos seleccionados se encuentran unos en inglés y portugués, cumpliendo de esta forma con un mínimo de diez fichas bibliográficas en idioma extranjero.

El desarrollo del documento se centró en la búsqueda y análisis de datos de diseño como: dimensiones, factores de construcción, material filtrante, profundidad de la capa filtrante,

frecuencia de pulsos, datos de operación como temperatura, clima, carga orgánica aplicada, y carga hidráulica superficial aplicada.

Una vez obtenida toda la información y análisis correspondientes, se buscó proponer recomendaciones para el diseño y operación, que generen ventajas en cuanto a construcción, operación, mantenimiento y desempeño de humedales de flujo subsuperficial Vertical.

KEYWORDS: filter material, operational data, vertical subsurface flow wetland, construction parameters.

SUMMARY

Through reviewing the subject as a methodological research strategy and as a choice of degree work; I have investigated vertical subsurface flow wetlands focused on the treatment of domestic sewage water in tropical countries. Given that this issue has been studied very little, a thorough consultation of articles in reputable and updated sources such as Ambientalex.info, Proquest, E-brary, E-book, Redalyc, Scielo and Google Scholar was necessary. After consulting different sources of information, 40 articles were selected, and to each article an index card was made in order to synthesize and further understand academic content. Among the selected, some items were in English and others in Portuguese, thus complying with a minimum of ten index cards in a foreign language. The development of this research paper focused on the search and analysis of design data such as dimensions, construction factors, filter material, depth of the filter layer, frequency pulse, operating data such as temperature, climate, organic load applied, and hydraulic load surface applied. Once all the relevant information and analysis were obtained, we sought to propose recommendations for the design and operation, to generate benefits in terms of construction, operation, maintenance and performance of vertical subsurface flow wetlands.

PALAVRAS CÓDIGO: material do filtro, dados operacionais, banhado fluxo subsuperficial vertical.

RESUMO

Através de revisão do assunto como estratégia metodológica em pesquisa e como uma escolha de trabalho grau; eu investiguei zonas húmidas fluxo de subsuperfície verticais voltadas para o tratamento de água de esgoto doméstico em países tropicais. Dado que esta questão tem sido pouco estudado, uma consulta exaustiva de artigos em fontes confiáveis e atualizados, tais como Ambiental.info, a ProQuest, a ebrary, Ebook, Redalyc, Scielo e Google Scholar era necessário. Após consulta diferentes fontes de informação, foram selecionados 40 artigos, e para cada artigo um cartão de índice foi feito a fim de sintetizar e entender melhor o conteúdo acadêmico. Entre os selecionados, alguns itens foram em Inglês e outros em Português, cumprindo assim com um mínimo de dez cartões de índice em uma língua estrangeira. O desenvolvimento deste trabalho de pesquisa focada na busca e análise de dados de projeto, tais como dimensões, fatores de construção, material de filtro, profundidade da camada de filtro, pulso frequência, os dados operacionais tais como temperatura, clima, carga orgânica aplicada, e superfície de carga hidráulica aplicado. Uma vez que toda a informação e análises relevantes foram obtidos, buscou-se propor recomendações para a concepção e operação, para gerar benefícios em termos de construção, operação, manutenção e desempenho das húmidas fluxo de subsuperfície verticais.

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales domesticas siempre han representado un problema por su impacto negativo sobre la salud humana y el ambiente. Es por esto, que se han desarrollado diferentes tipos de tratamientos de aguas residuales con el fin de disminuir sus cargas contaminantes y regresar así un efluente adecuado al cuerpo de agua receptor.(Pérez Villara, 2015)

Los humedales artificiales verticales son uno de los tratamientos secundarios o terciarios desarrollados para mitigar el impacto negativo de las aguas residuales domésticas. Generalmente la profundidad de su lecho filtrante es no mayor a 1.2 m, donde basados en los sistemas naturales el hombre diseña y construye los mismos, para la depuración de aguas residuales. (GALLEGO, 2010)

Los humedales naturales tienen dos funciones fundamentales; la primera es depurar las aguas que a él llegan, luego de ser utilizadas en diferentes actividades antropogénicas y la segunda, contener aguas en épocas de lluvias y evitar inundaciones e irlas liberando paulatinamente en tiempos secos.

En comparación con otras tecnologías, los humedales artificiales construidos presentan las siguientes ventajas y desventajas: (CONAMA, 2014).

VENTAJAS:

- No genera lodos.
- Son autónomos, una vez establecidos funcionan por si solos.
- La energía necesaria depende del sistema de bombeo: Si se usa un sistema de sifón autodescargante, no requiere de la misma o si se usa una bomba eléctrica, si requiere de un suministro de electricidad.
- Bajos costos de operación y mantenimiento.
- Vida útil entre 15 y 20 años.

- Impacto paisajístico positivo.
- Flexibilidad de diseño.

DESVENTAJAS:

- Requiere de mayores espacios para su implementación en comparación con tratamientos fisicoquímicos.
- Requiere de un proceso de puesta en marcha y adaptación.

En los humedales artificiales las plantas son una parte esencial; además, son estéticamente agradables, sirven de hábitat para animales y actúan como zona verde.

La función de la vegetación en los humedales está dada fundamentalmente por las raíces y rizomas enterrados. Las plantas tienen la habilidad de captar oxígeno desde la atmósfera por medio de sus hojas y tallos y llevarlos hasta el medio donde se encuentran las raíces.

Este oxígeno crea zonas aerobias donde los microorganismos lo utilizan para producir diferentes tipos de reacciones, donde se degrada materia orgánica y se produce nitrificación. Esto conlleva a que, por medio de todas estas reacciones, se biodegraden gran cantidad de los contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas a las que el humedal está siendo expuesto.

El aspecto más importante de las plantas en los humedales artificiales, es su capacidad de mantener la conductividad hidráulica del lecho filtrante, ya que, en los filtros sin plantas, el suelo tiene que ser tratado para recuperar su conductividad hidráulica, pues esta se pierde debido a la formación de biopelícula y deposición de sólidos.

Otro de los aspectos fundamentales de un humedal artificial es su lecho filtrante, cuya profundidad más popular entre los diferentes autores es de 0.80 m, donde generalmente se usa arena, grava y rocas de diferentes diámetros.

El lecho filtrante presenta diversas importancias en el funcionamiento de un humedal artificial, por ejemplo: en él se almacenan muchos de los contaminantes del afluente, es el soporte para los diferentes microorganismos presentes, diversas reacciones biológicas y químicas se realizan en este y es por medio del lecho donde su permeabilidad rige el movimiento del agua a través del humedal artificial.

Existen diferentes tipos de humedales artificiales:

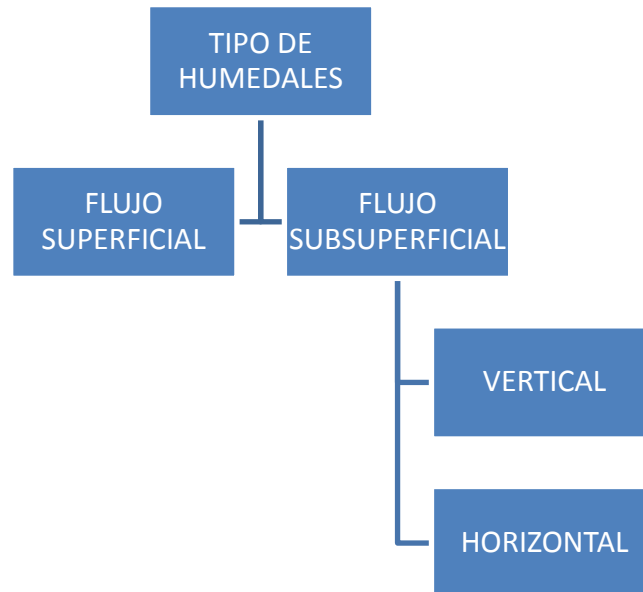


Ilustración 1. Moncada. A. 2016. Cuadro conceptual. Fuente: elaboración propia.

Humedales artificiales de flujo libre o superficial: En este tipo de humedal el agua circula por encima del sustrato continuamente. Se favorecen las condiciones aerobias al estar el agua directamente expuesta a la atmósfera. (Corzo Hernández & Garcia Serrano, 2008)

Humedales artificiales de flujo subsuperficial: el agua circula a través del sustrato. En función del sentido del flujo, pueden ser horizontales o verticales. (Corzo Hernández & Garcia Serrano, 2008)

Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical: el agua circula verticalmente a través del sustrato de manera intermitente. (Corzo Hernández & Garcia Serrano, 2008)

Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal: el agua circula horizontalmente a través del sustrato de manera continua. Se favorecen las condiciones

anaerobias al mantenerse el nivel del agua por debajo del sustrato. (Corzo Hernández & Garcia Serrano, 2008)

Este trabajo se centrará en los humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical en países tropicales, esto debido al poco desarrollo temático e investigativo que se ha tenido con este tipo de humedales en dichos países.

Los humedales de flujo vertical son cada vez más populares que los humedales artificiales de flujo horizontal, en especial cuando el espacio es limitado. En humedales de flujo vertical (Ver ilustración 2) el agua es bombeada hacia la superficie del lecho, donde después se percola verticalmente hacia abajo a través de la capa filtrante hasta la parte inferior donde finalmente se evacua a través de un sistema de drenaje, compuesto por tubos de recolección cubiertos con grava (ver Ilustración3).

Los humedales de flujo subsuperficial vertical, al contar con un sistema de alimentación controlado por pulsos, permiten tener un período de carga en el cual el aire es expulsado y un período seco en el cual el aire es introducido en el lecho (Crites y Tchobanoglous). La inyección de oxígeno atmosférico al sustrato, permite el incremento de la tasa de transferencia de oxígeno (Cooper, 1999; Nivala et al., 2013; Schwager y Boller, 1997), lo que conlleva a optimizar los procesos de oxidación de la materia orgánica y la nitrificación.

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical, tienen una eficiencia mayor en cuanto a remoción de materia orgánica, en comparación con los humedales de flujo subsuperficial horizontal, pues requiere menor área, aproximadamente la mitad del área.

Los humedales de flujo subsuperficial vertical, muestran una eficiencia en remoción de DBO entre 50 % y 98 % lo que significa gran eficiencia en este parámetro.

El porcentaje de eficiencia de remoción de contaminantes depende del tipo de agua residual a tratar, las concentraciones de entrada de los contaminantes, al tipo de especie y número de plantas utilizados.

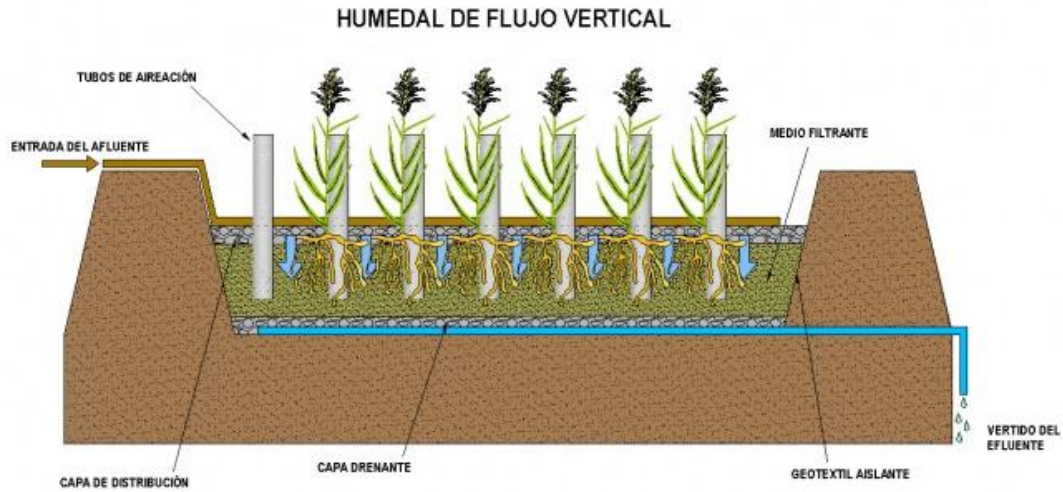


Ilustración 2. humedal de flujo vertical. Fuente: <http://sedaqua.com/depuracion-aguas>

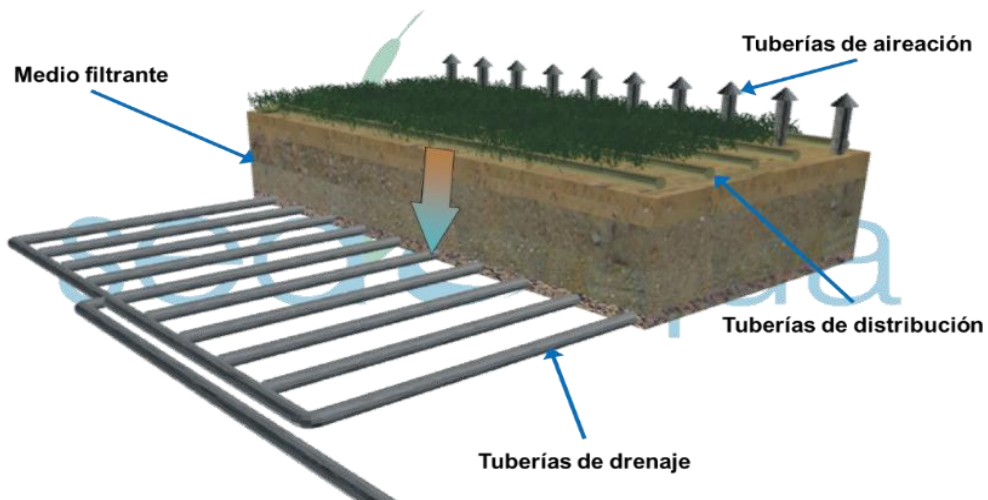


Ilustración 3. Sistema de drenaje Humedal vertical. Fuente: <http://sedaqua.com/depuracion-aguas>

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el desempeño y operación de humedales construidos de flujo subsuperficial vertical para tratamiento de agua residual domésticas en países tropicales.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las características de diseño y operación de humedales de flujo subsuperficial vertical en tratamiento de aguas residuales domésticas en países tropicales
- Analizar los datos de desempeño relacionados con depuración y operación para humedales de flujo subsuperficial vertical en tratamiento de aguas residuales domésticas en países tropicales.
- Proponer recomendaciones para el diseño y operación, que generen ventajas en cuanto a construcción, operación, mantenimiento y desempeño.

3. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la metodología de revisión de tema, se tuvieron en cuenta las siguientes fases:

Fase 1: Se redacta la propuesta del trabajo de grado: Se define la problemática actual sobre la falta de información en tratamientos de agua residual domestica vía humedal artificial de flujo subsuperficial vertical en países tropicales, se plantean los objetivos que conllevan a la investigación del problema a través de la revisión de bases de datos, bibliografía y se realiza un mapa conceptual en el cual se muestra la taxonomía del tema. Finalmente, se selecciona el material a estudiar para así organizar la información recolectada en fichas bibliográficas para una mejor comprensión.

3.1 Tabla 1. Fichas bibliográficas.

Fecha de lectura	Número consecutivo de revisión
Título	
Autor (es)	
Fuente bibliográfica	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto	
Palabras nuevas	
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor	
Análisis interpretativo por el revisor	
Referencias de interés que cita el autor	

Fuente: Elaboración propia

El desarrollo de las fichas permite organizar la consulta de distintas fuentes de información y conocimiento.

Fase 2: Se buscan documentos científicos por medio de bases de datos: publicaciones, revistas científicas, en el tema de humedales de flujo subsuperficial vertical.

Fase 3: Se analiza la información y se diligencian las fichas bibliográficas. En la fase de interpretación, se analizan los textos, se muestra la comprensión y apropiación conceptual para ser plasmado en el documento final.

Fase 4: En esta fase de análisis y argumentación, se presenta un documento donde se encuentra los diferentes aspectos a tener en cuenta al momento de diseñar e implementar un humedal de flujo subsuperficial vertical; incluye comparación entre los documentos consultados; De igual forma, se plasman las reflexiones y conclusiones desde una perspectiva crítica y propositiva, que evidencian el punto de vista profesional del estudiante de Ingeniería Ambiental.

3.1.2 MAPA CONCEPTUAL DEL TEMA

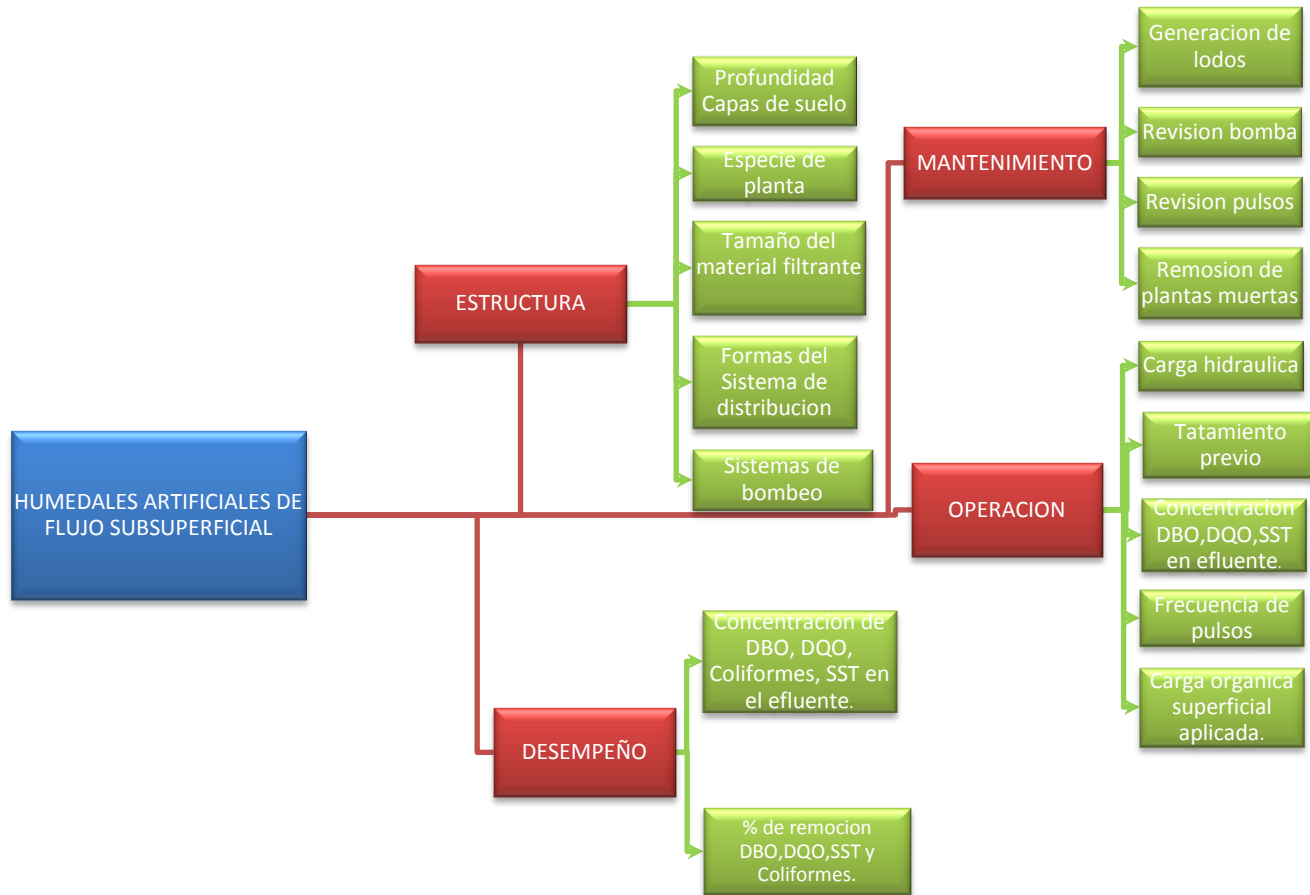


Tabla 2. Moncada. A. 2016. Mapa Conceptual. Elaboración propia.

4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES.

Para conocer las ventajas y las desventajas que tienen los diferentes tipos de humedales artificiales, se presentan dos tablas comparativas.

La primera compara humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial y la segunda compara humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical y horizontal.

(Oscar Delgadillo, 2010)

Tabla 3. Comparación entre diferentes sistemas de flujo humedal.

	Flujo superficial	Flujo subsuperficial
Tratamiento	Tratamiento de flujos secundarios (lagunas, biodiscos, lodos activados, etc)	Para tratar flujos primarios (Tanque Imhoff, pozos sépticos)
Operación	Opera con baja carga orgánica	Opera con altas cargas orgánicas.
Olor	Puede ser controlado	NO existe
Insectos	Control caro	NO existe
Protección térmica	Mala, bajas temperaturas afectan el proceso del tratamiento.	Buena. (por acumulación de restos vegetales y el flujo subterráneo el agua mantiene una temperatura constante.
Área	Superficie mayor tamaño.	Superficie menor tamaño.
Costo	Menor costo en relación al subsuperficial	Mayor costo debido al medio granular que puede incrementar su precio hasta en un 30% en comparación con el superficial.

Valor ecosistema	Mayor vida salvaje, agua accesible a la fauna.	Agua difícilmente accesible a la fauna.
Usos generales	Son de restauración y de creación de nuevos ecosistemas.	Tratamientos de aguas residuales de poblaciones menor a 200.
Operación	Tratamiento adicional a los sistemas convencionales. (tratamiento terciario y mejoramiento de la calidad del agua)	Se usa como tratamiento secundario.

En términos de costos, los humedales artificiales superficiales requieren menor inversión en relación a los de flujo subsuperficial ya que en los primeros no se incurren en los gastos mayores: la impermeabilización y la provisión y colocación del sustrato de grava. (Oscar Delgadillo, 2010).

Tabla 4 Comparación entre humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal y vertical.

	HORIZONTAL	VERTICAL
FUNCIONAMIENTO.	CONTINUO.	DISCONTINUO.
ESTADO OXIDACION.	MAS REDUCIDO.	MAS OXIDADO.
EFICIENCIA.	MAS SUPERFICIE.	MENOS SUPERFICIE
CARGA ORGANICA SUPERFICIAL APLICADA.	4-6 g DBO ₅ / m ² d	20-40 g DBO ₅ / m ² d
NITRIFICACION.	COMPLICADA.	SE CONSIGUE.
OPERACIÓN.	SENCILLA.	COMPLEJA.

Cabe resaltar que los humedales de flujo horizontal tienen mayor riesgo de colmatación, por lo tanto, requieren que el agua a tratarse tenga menor material en suspensión. (Oscar Delgadillo, 2010)

En cuanto a la operación, en términos generales, ambos tienen baja complejidad, aunque no se debe confundir poco complejo con nada complejo, ya que se puede estropear el tratamiento e inclusive afectar el humedal. (Oscar Delgadillo, 2010)

Tabla 5. Recopilación de ventajas y desventajas de los sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales. Adaptación de Arenas.
C.2015

TRATAMIENTO	HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL.	LODOS ACTIVADOS	FILTRO BIOLOGICO	BIODISCOS	LAGUNAS
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> • No genera lodos. • Son autónomos, una vez establecidos funcionan por si solos. • La energía necesaria depende del sistema de bombeo • Bajos costos de operación y 	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad de operación. • Alta eficiencia de remoción de carga orgánica. • Mínima presencia de olores e insectos. • Posibilidad de regulación de energía consumida. • Generación de lodos 	<ul style="list-style-type: none"> • Altas eficiencias de remoción para sólidos en suspensión y microorganismos. • Efluente apto para reúso agrícola. • Efluente parcialmente nitrificado. • No requiere sofisticado equipo electromecánico 	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil mantenimiento. • Tiempos de retención cortos. • Costos bajos de operación y mantenimiento. • Generalmente no hay recirculación de efluente ni lodos. • Requiere menor área. • Bajo consumo de energía. • Fácil operación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere escaso control operacional. • Bajo costo de mantenimiento y no es requerido frecuentemente. • En climas áridos o semiáridos se reducen las pérdidas por evaporación.

	<p>mantenimiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vida útil entre 15 y 20 años. • Impacto paisajístico positivo. • Flexibilidad de diseño. 	<p>secundarios “estabilizados”.</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Requiere mínima atención del operador. 	
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de mayores espacios para su implementación en comparación con tratamientos fisicoquímicos. • Requiere de un proceso de 	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimientos técnicos sofisticados y mantenimiento continuo. • Dependencia con la temperatura del efluente a tratar y condiciones de entrada como pH y presencia de compuestos tóxicos <ul style="list-style-type: none"> • Requiere operadores capacitados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo elevado operacional, de equipamiento e infraestructura. • Requiere operadores capacitados. • Producción de lodos inestables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimiento de un tiempo muy largo para alcanzar la estabilidad y el crecimiento de la película microbiana. • No son efectivos cuando el agua residual contiene altas concentraciones de metales y ciertos pesticidas, herbicidas y compuestos orgánicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Olores desagradables. • Presencia de vectores infecciosos. • Altos tiempos de retención necesarios para obtener altas eficiencias. • Grandes volúmenes. • Requerimiento de grandes

	<p>puesta en marcha y adaptación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos de operación, principalmente asociados a los requerimientos de aireación activa (aire). 		<p>fuertemente clorados, debido a la inhibición de la actividad microbiana (<i>Paola Ordóñez, Alonso Betancur; p.14</i>)</p>	<p>extensiones de terreno.</p>
--	---------------------------------------	--	--	--	--------------------------------

Para dar una mejor claridad con respecto a las diferentes ventajas y desventajas de los tratamientos biológicos de aguas residuales, se realiza una matriz donde se encuentra de forma más clara y precisa las fortalezas y debilidades de los tratamientos descrito anteriormente.

Tabla 6. Matriz comparación tratamientos biológicos de aguas residuales. Adaptación Arenas.C.2015

Criterios	Sistemas de tratamiento propuestos				
	Lodos activados	Filtro Biológico	Biodiscos	Sistemas de lagunaje	Humedal artificial de flujo vertical
Costos	-	-	-	-	-
Inversión	Elevados	Bajos	Bajos	Depende del precio del terreno	Depende del precio del terreno
Operación y mantenimiento	Elevados	Bajos	Bajos	Bajos	Bajos
Técnicos	-	-	-	-	-
Eficiencia de remoción	DBO5:90-95%	DBO5	DBO mayores del 90 %	DBO:70-95 %	DBO entre 50 % y 98 %
		Tasa baja:80-85%			
		Tasa media:50-70%			
		Tasa alta:65-80%			
		Tasa muy alta:65-85%			
Generación de residuos	Alto	Inestables	Bajo	Bajo	Bajo

Requerimiento de insumos químicos	Bajo	no aplica	bajo o nulo, depende de las características fisicoquímicas del agua residual	no aplica	No aplica.
Requerimientos de energía (Bombeo, agitación, movimiento mecánico)	Alto	Medio	bajos	bajos o nulos	Bajos o nulos
Operaciones unitarias necesarias	Básicas + tratamiento y recirculación de lodos	Básicas	Básicas	Básicas	Básicas
Necesidades de automatización	No	No	No	No	
Complejidad en la construcción y equipamiento	Alto	Medio	Bajo	Bajo	Bajo

Vida útil	20 años *	20 años*	Depende del tipo de agua residual a tratar y material de los discos, eje y rodamientos	15-20 años*	15-20 años*
Operación	-	-	-	-	-
Requerimientos de personal	Muy capacitado	Capacitado	Capacitado	Capacitado	Capacitado
Tolerancia a variaciones de flujo	SI	Si	Si	Si	si
Características del terreno	-	-	-	-	-
Requerimiento de área	Grande	Medianamente grande	Poco	Extenso	Grande
Relieve del terreno	Plano	Plano	Plano	Plano	plano

Características ambientales	-	-	-	-	-
Producción de ruido	SI	Mínimo	Mínimo	no aplica	No aplica.
Contaminación visual	Mínima	Mínima	Mínima	Si	No
Producción de malos olores	Mínimo	Mínimo	No	Si	No
Condiciones para la reproducción de animales dañinos	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Alto	Bajo o nulo.

A partir de las ventajas y desventajas que presentan los diferentes tratamientos de aguas residuales, se resalta las ventajas del humedal de flujo subsuperficial vertical, ya que en comparación con los demás, este tiene una complejidad de mantenimiento y operación bajas, su vida útil es amplia, no genera olores, no es foco de vectores, no requiere o requiere poca energía externa, su eficiencia es alta y no genera contaminación paisajística, por el contrario contribuye a un embellecimiento del entorno por las plantas utilizadas.

El único inconveniente que presenta este tipo de humedales es el requerimiento de terreno, cuyo precio varía según la ubicación y disponibilidad del mismo. Es aquí donde se resalta la gran diferencia entre los humedales de flujo subsuperficial vertical y los humedales de flujo horizontal, ya que estos últimos requieren menor cantidad de área para su construcción que los humedales de flujo vertical.

5. RECOMENDACIONES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE HUMENDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL.

En esta sección se presentan recomendaciones que diferentes autores hacen para el diseño y construcción de humedales de flujo subsuperficial vertical.

5.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL.

Para el diseño de los humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical, es necesario utilizar valores adecuados de carga orgánica superficial aplicada para la determinación del área. Al tener una adecuada carga orgánica superficial aplicada, se evita que el sistema se sobre cargue y pierda eficiencia.

Con el fin de garantizar una correcta oxigenación del suelo y del lecho del humedal, se recomienda realizar entre 4 y 6 pulsos diarios de aportación de caudal al humedal, dejando un tiempo de transición entre cada pulso para evitar saturación del humedal. En estos casos se utilizan bombas eléctricas para el control de cada pulso y no se recomienda en lugares donde no se cuente con un suministro eléctrico o no se disponga de algún tipo de energía alternativa que alimente las bombas. De ser así, se puede utilizar un sifón auto descargante, el cual se puede conseguir en estados unidos o en Europa; en Colombia es de difícil obtención. (Münch, 2009)

5.1.2 TIPO DE SUSTRATO EN UN HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL.

El sustrato está conformado por varias capas de material según el tipo de uso que se dará al humedal.

El autor Alfredo Jácome Burgos, recomienda basado en su experiencia que el sustrato de los humedales de flujo vertical se componga de 4 materiales:

Arena gruesa, Turba, Gravilla y Grava gruesa. (Burgos, 2014)

La distribución de los sustratos esta de la siguiente forma: En la parte superficial arena gruesa (2 mm), para evitar la rápida colmatación del medio; el espesor ideal para la turba sería de 10 cm; para la capa de gravilla, se sugiere una granulometría de 10 mm con el objetivo de tener una gran superficie específica para el desarrollo de la biopelícula. (Burgos, 2014)

El agua fluirá a través del medio poroso y se recogerá en una red de tuberías de drenaje situada en el fondo del lecho, ayudado por la pendiente.

El medio filtrante debe tener permeabilidad para permitir el paso del agua por medio del mismo

Las características del sustrato se presentan en la siguiente tabla:

Material	Espesor recomendado. (cm)	Diámetro aparente (mm)	Densidad aparente (g/cm ³)	Superficie específica (m ² /m ³)	Porosidad (%)	Conductividad hidráulica (cm/d)
Arena gruesa	20	2	1,2	1500	54	10 ⁴
Turba	10	0,8	0,5	-	81	10 ⁻⁴
Graba media	40	10	1,33	136	49	10 ⁶
Graba gruesa	10	40	1,35	67	48	10 ⁷

Tabla 7. Características físicas y espesor recomendado del sustrato de los Humedal de flujo vertical. (Burgos, 2014)

La profundidad en los lechos del filtro de arena debe ser de al menos 50 cm, a parte de los 20 cm de grava en el fondo y 15 cm de grava en la parte superior. El área específica para la superficie en las regiones cálidas entre 1-2 m² / PE¹ (Münch, 2009).

Se recomienda realizar periódicamente limpieza de la capa superficial de flotantes y de residuos que pueden ocasionar un mal funcionamiento de la unidad. (Bocardo, 2010)

5.1.3 VEGETACIÓN RECOMENDADA PARA UN HUMEDAL DE FLUJO VERTICAL EN CLIMA TROPICAL.

La autora Elisabeth von Münch, hace algunas recomendaciones al momento de elegir el tipo de planta en el humedal a construir. Aquí se resaltan las más importantes y sobre todo las disponibles en países de clima tropical. (Münch, 2009).

las plantas más recomendadas para tratamiento de aguas residuales domésticas. Son: Typhas (*Typha latifolia*), *Phragmites australis* y la heliconia.

Cyperus papyrus: Esta planta tiene un gran uso decorativo, lo que la hace fácil de conseguir, pero tiene el problema que crece hasta tres metros de altura, tiende a formar una capa de materia orgánica en la superficie y este tipo de plantas crecen solo por gajos de la planta madre. Son plantas muy resistentes y también son excelentes en el tratamiento de aguas residuales con alta concentración de sal.

¹ Persona equivalente.



Ilustración 4.. 2016. Ilustración, Planta Papyrus. Fuente: Google imágenes

Bambú: Estas plantas se pueden adquirir fácilmente, son especies ornamentales, pero presentan problemas de crecimiento lento, en especial en los primeros 3 años (depende del clima).



Ilustración 5. Planta Bambú. Fuente: Google imágenes

Junco - *Typha latifolia*: Este tipo de planta crece en pantanos y presentan en climas tropicales una mayor resistencia que la *Phragmites australis*.



Ilustración 6. Planta Typha latifolia. Fuente: Google imágenes

Especies del género *Heliconia*: Estas plantas son decorativas, existen muchas de su especie, son de fácil acceso, pero un factor que hay que tener en cuenta, es que algunas de estas especies son de sombra y otras son de condiciones de bastante luz solar.



Ilustración 7. Planta Heliconias. Fuente: Google imágenes

Vetiver – *Chrysopogon zizanioides*: Este tipo de planta no es usual en humedales, pero se ha documentado su éxito en humedales artificiales de flujo vertical. El vetiver es utilizado en climas cálidos como control de erosión y como material de artesanía.

Al implementar el vetiver como planta en un humedal artificial vertical Las raíces parecen crecer menos en el tratamiento, Tal vez debido al alto contenido de nutrientes, pero el crecimiento es suficiente para mantener las funciones del humedal de flujo vertical.



Ilustración 8. Planta Vetiver. Fuente: Google imágenes

Aunque la mejor opción para elegir la vegetación para sembrar en el humedal, es que esta sea nativa del lugar donde se piensa construir el humedal; esto con el fin de que la planta ya se encuentre aclimatada y adaptada a las circunstancias del entorno.

Existen un sin número de factores y lineamientos que se deben tener en cuenta al momento de diseñar un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical. Para un mejor funcionamiento de los humedales de flujo vertical, se recomienda en el diseño la construcción de dos humedales, para que cada humedal tenga un periodo de reposo y un periodo de aplicación de agua.

Para el diseño de estos humedales se deben seguir y tener en cuenta los siguientes pasos: (Oscar Delgadillo, 2010)

- Cálculo del área necesaria.
- Profundidad del humedal.
- Pendiente.
- Sustrato.
- Carga orgánica superficial aplicada.
- Carga hidráulica superficial aplicada.

En los primeros meses de operación del humedal se debe eliminar plantas plaga, que pueda afectar las demás plantas presentes en el humedal. (Bocado, 2010)

Se debe prevenir y controlar la aparición de posibles plagas, que puedan hacer peligrar la existencia de las plantas. (Bocado, 2010)

Evitar la entrada de animales que puedan alimentarse de las plantas del Humedal. (Bocado, 2010)

5.1.4 CÁLCULO DEL ÁREA NECESARIA CON BASE EN CRITERIO DE CARGA ORGÁNICA SUPERFICIAL APLICADA.

Para el cálculo del área mínima para el humedal, se realiza en función de carga orgánica superficial aplicada. (Oscar Delgadillo, 2010)

$$A = \frac{Q * S_o}{C}$$

Donde:

Q = caudal afluente, m³/d

S_o = concentración de substrato afluente (kgDQO/m³ ó kgDBO/m³)

A = Área mínima.

C= Valor de Carga orgánica que generalmente se toma en base a la literatura.

5.1.5 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINACIÓN DE ÁREA DE LOS HUMEDALES VERTICALES BASADOS EN LA ECUACIÓN CINÉTICA DE PRIMER ORDEN.

Los humedales construidos pueden ser considerados como reactores biológicos de biomasa adherida y su funcionamiento para la remoción de la DBO y el nitrógeno, puede ser estimado de acuerdo con una cinética de primer orden para un reactor con flujo pistón. Las relaciones básicas para los reactores con flujo pistón son las siguientes: (Reed et al, 1995) (Oscar Delgadillo, 2010)

$$C = C_o e^{(-Kt)}$$

El valor de K usado en la ecuación depende del tipo de contaminante removido y de la temperatura

Donde:

C: Concentración del contaminante efluente. (mg/l)

Co: Concentración del contaminante afluente. (mg/l)

K: Constante de velocidad de reacción de primer orden, dependiente de la temperatura. (d^{-1})

t: Tiempo de retención hidráulica. (d)

El tiempo de retención hidráulica en los humedales se calcula implementando la siguiente ecuación. (Oscar Delgadillo, 2010)

$$TRH = \frac{L * W * n}{Q}$$

Donde:

L: Longitud del estanque. (m)

W: Ancho del estanque. (m)

d: profundidad del agua en el estanque. (m)

n: porosidad, o espacio utilizado por el agua para fluir a través del humedal.

La porosidad se expresa en porcentaje decimal.

Q: Flujo promedio a través del humedal. (m³/d)

(Oscar Delgadillo, 2010)

Para determinar el flujo promedio se aplica la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{Qa + Qe}{2}$$

Donde:

Qa: Flujo afluente.

Qe: Flujo efluente

Para hacer un diseño preliminar usualmente se asume que Qa y Qe son iguales

Al combinar las ecuaciones de cinética de primer orden para un reactor con flujo pistón y el tiempo de retención hidráulico, se puede determinar el área superficial del humedal. (Oscar Delgadillo, 2010)

$$AS = LW = \frac{Q_{in} \left(\frac{C_o}{C_e} \right)}{Kdn}$$

Dónde:

As: Área superficial del humedal (m²)

El valor de K usado en la ecuación depende del tipo de contaminante removido y de la temperatura.

5.1.6 PROFUNDIDAD DEL HUMEDAL.

La bibliografía aconseja que la profundidad del lecho filtrante sin incluir sobre borde este de 0.6 a 0.8 m. (Oscar Delgadillo, 2010)

5.1.7 PENDIENTE.

Para evitar que se estanque el agua en la superficie del humedal, la pendiente del mismo debe ser plana (0%) y la pendiente del fondo del lecho del humedal, es generalmente una pendiente ligera del 1%. (Oscar Delgadillo, 2010)

La superficie superior del filtro siempre tiene que ser horizontal.

5.1.8 CARGA ORGÁNICA SUPERFICIAL APLICADA.

Para el caso de los humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical, es necesario utilizar adecuados valores de carga orgánica superficial aplicada, en la determinación del área, para no sobrecargar el sistema. Por otro lado, no se diseña con base en carga hidráulica sino carga orgánica superficial aplicada.

Al tener una adecuada carga orgánica superficial aplicada, se evita que el sistema se sobre cargue y pierda eficiencia al no poder tratar el exceso de volumen de agua residual doméstica.

Los humedales necesitan una baja carga orgánica superficial aplicada, para alcanzar unos buenos rendimientos y evitar obstrucción del lecho. De este modo necesitan una superficie muy grande. Si se utilizan superficies menores a la del diseño, se puede reducir la capacidad de llevar a cabo el proceso de nitrificación, desnificación y puede aumentar el riesgo de atasco prematuro. (fountoulakis et al., 2009), (ngo thuy et al., 2009)

Para el diseño de los humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical, es necesario utilizar valores adecuados de carga orgánica superficial aplicada para la determinación del área.

Al tener una adecuada carga orgánica superficial aplicada, se evita que el sistema se sobre cargue y pierda eficiencia al no poder tratar el exceso de volumen de agua residual doméstica. (Burgos, 2014)

La carga orgánica superficial aplicada, en unidades (g DQO/(m²d) o g DBO/(m²d)), resulta de la combinación de la carga hidráulica con la concentración afluente promedio de DQOT o DBO, durante el estado estacionario en cada fase.

(Oscar Delgadillo, 2010).

La carga orgánica superficial aplicada, está regida por la siguiente formula:

$$C = \frac{Q * S_o}{AT}$$

Donde:

C= carga superficial aplicada.

Q = caudal afluente, m³/d

So = concentración de substrato afluente (kgDQO/m³ ó kgDBO/m³)

AT = Área Superficial del humedal.

La carga orgánica del humedal de flujo vertical en climas cálidos, es alrededor de 60-70 g DQO / (m². día), lo que corresponden más o menos 30-35g DBO₅/ (m². día).

5.1.9 CARGA HIDRÁULICA SUPERFICIAL APLICADA.

La carga hidráulica superficial, es el equivalente de cualquier flujo, en términos de pluviosidad, es decir, cantidad de agua que recibe un sitio en un periodo determinado de tiempo (Kadlec y Wallace, 2009,)

$$qs = \frac{Q}{A}$$

Dónde:

Q= Caudal.

A= Superficie de humedal:

$$A = W * L$$

Donde W es el ancho y L es el largo

(Oscar Delgadillo, 2010)

5.1.10 Tabla 8. Comparación de parámetros recomendados por diferentes autores.

AUTOR	FACTOR	INTERVALO	VALOR USUAL
Medio filtrante			
Oscar Delgadillo, 2010	Arena Fina lavada (Tratamiento secundario)	0,25-0,75 mm	0,35
Oscar Delgadillo, 2010	Grava Fina (Tratamiento primario)	2,00-8,00 mm	2,00-5
Ayestas, 2013	Profundidad	06-08m	80
Drenaje			
Oscar Delgadillo, 2010	Turba perforada		

Oscar Delgadillo, 2010	Tamaño tubería	3, - 4, Pul	4
Oscar Delgadillo, 2010	pendiente	0,1-1 %	0,5
Guía de diseño de humedales verticales de Dinamarca (Brix y Arias, 2005)	Tamaño efectivo de partícula (d10)	0.25 < d10 < 1.2 mm	---
Manual de diseño de humedales construidos del (Programa UN – Habitat, 2008)	Tamaño efectivo de partícula (d10)	0.2 < d10 < 1.2 mm	---
Estándares de diseño (ÖNORM B 2505, 2005)	Tamaño efectivo de partícula (d10)	d10 = 0.2 mm	---
Rodríguez T. y I.M. Ospina (2005)	Características del sustrato utilizado.Arena.	d10 = 0.17 mm	
Oscar Delgadillo, 2010	Grava de drenaje	20-40 mm	40
Distribución de agua.			
Oscar Delgadillo, 2010	Diámetro tubería	1,-2 Pul	1,5
Oscar Delgadillo, 2010	Distancia entre tuberías	0,5-1,2 m	0,6
Oscar Delgadillo, 2010	Orificio de distribución	3,-8 mm	6
Oscar Delgadillo, 2010	Distancia entre orificios	0,5 -1,2 m	0,6
Pulsos/dosificación			
Oscar Delgadillo, 2010	Pulsos diarios	4 -24 Veces/día	12

Oscar Delgadillo, 2010	Volumen/Orificio	0,6-1,1 L/orificio*dosis	0,9
Oscar Delgadillo, 2010	Tiempo de aplicación	2 -15 minutos	5
Ayestas, 2013	Carga orgánica superficial aplicada. afluente	<11.2 g DBO5/(m2dia)	---
Hoffmann, 2011	Carga orgánica superficial aplicada	< 30-35 g DBO5/(m2dia)	
(Münch, 2009)	Pulsos diarios	4-dic	---
Ayestas, 2013	Carga hidráulica	<5 cm d ⁻¹	---
(Burgos, 2014)	Pulsos diarios	4 - 6	
(Bohórquez,2015)	Pulsos diarios.	20 pulsos d ⁻¹	
(Bohórquez,2015)	Pulsos diarios.	10 pulsos d ⁻¹	

Fuente: Adaptación de (Oscar Delgadillo, 2010) (Ayestas, 2013) (Münch, 2009)

5.2 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y DRENAJE.

(Münch, 2009)

- La superficie superior del filtro tiene que ser horizontal y las tuberías de distribución deben estar cubiertas con grava para evitar la acumulación de aguas descubiertas durante los períodos de bombeo. (Münch, 2009)
- Las tuberías de alimentación deben estar diseñadas para permitir la distribución del efluente pre tratado de manera uniforme sobre el lecho de todo el humedal.

- Para humedales de flujo vertical de gran tamaño, la distancia entre las tuberías de drenaje es variable. (Una buena referencia, es a una distancia de 5 m). El tubo de drenaje siempre está cubierto con grava.

5.3 RECOMENDACIONES PARA UNA ÓPTIMA AIREACIÓN DEL MATERIAL FILTRANTE.

(Münch, 2009)

Un aspecto muy importante de los humedales de flujo subsuperficial vertical, es el riesgo de obstrucción del lecho filtrante que da lugar a la falla general del sistema (Cooper and Green, 1994; Platzer and Mauch, 1997; Winter and Goetz, 2003). (Münch, 2009)

La obstrucción es causada por la acumulación de sólidos. Una posibilidad para evitar la obstrucción, es mantener la carga orgánica lo suficientemente baja para que los procesos de degradación natural no produzcan exceso de biomasa.

El principal factor para un buen funcionamiento de los humedales de flujo subsuperficial vertical, es una óptima aireación del lecho filtrante, por lo que se resaltan los siguientes puntos: (Münch, 2009)

- Los humedales de flujo vertical tienen que ser alimentados de manera intermitente (4-12 veces / d).
- Es indispensable una distribución uniforme de las aguas residuales.

5.4 FRECUENCIA DE PULSOS.

Por otra parte, la frecuencia o pulso de aplicación del agua residual se calcula considerando que no se acumule agua en la superficie procedente del riego anterior. Al controlar los pulsos de aplicación favorece la oxigenación del interior del lecho filtrante. (Oscar Delgadillo, 2010)

5.5 RECOMENDACIONES PARA TRATAMIENTOS PREVIOS.

Como se ha dicho en puntos anteriores de este documento, el humedal debe ser un complemento de otro u otros tratamientos previos, los cuales es importante que funcionen correctamente, ya que, en caso contrario, se acelerará el proceso de colmatación de los humedales. (Bocado, 2010)

El pretratamiento tiene como objetivo eliminar los objetos gruesos, flotantes y las grasas que se encuentran en las aguas residuales; esto con la finalidad de evitar que su presencia provoque obstrucciones en el resto de etapas del tratamiento y la rápida colmatación del lecho filtrante del humedal. (Bocado, 2010).

El pre-tratamiento es sumamente importante para evitar la obstrucción de los poros debido a la acumulación de sólidos y para que el tamaño del tratamiento secundario sea menor. (Münch, 2009).

Cuanto más eficiente es el tratamiento primario, más económico será el tratamiento secundario. Por ejemplo, un humedal artificial con el efluente proveniente de un tanque Baffled tendrá sólo el 60% de la superficie que ocuparía normalmente. (Münch, 2009).

Por lo general, el Pretratamiento en la tecnología de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial vertical, está constituido por la eliminación de sólidos gruesos, que suele llevarse a cabo haciendo pasar las aguas residuales a través de rejillas, de 2 a 3 cm de separación entre barrotes, y de limpieza manual (Bocado, 2010).

Para conseguir una mayor eliminación de los sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales y minimizar por tanto los riesgos de colmatación del sustrato filtrante, se recurre a la implantación de fosas sépticas o tanques Imhoff, como tratamiento primario, previo a la alimentación a los humedales.

Los humedales artificiales se usan como tratamiento secundario o terciario, lo que significa que los sólidos suspendidos y las partículas más grandes, así como algunos de materia orgánica deben ser removidas antes que las aguas residuales puedan ser tratadas en los humedales artificiales de flujo vertical.

La tecnología utilizada depende si es para aguas grises o aguas domésticas. (Münch, 2009)

Para Aguas grises:

Rejas, cámara de sedimentación de arena o trampa de grasa.

Aguas residuales domésticas:

Tratamiento primario en tanques sépticos, tanques de sedimentación, tanques Imhoff o lagunas de aireación.

5.5.1 Trampa de grasa.

En la trampa de grasa, las grasas y aceites son retenidos por medio del proceso de flotación.

La capa de grasa flotante, tiene que ser eliminada periódicamente, antes de que se hunda en el suelo. (Münch, 2009)

Cuando la trampa de grasa es el único pre-tratamiento disponible para las aguas grises que posteriormente se trataran en un humedal artificial, puede ser necesaria la combinación con un tanque de sedimentación, para extraer los sedimentos de lodo que pueden ser formados por arena, jabones y restos de alimentos, que podrían pasar a los humedales. (Münch, 2009)

5.5.2 Tanque Séptico.

Este tratamiento primario también elimina parte de las grasas, pero para restaurantes y lugares donde se manejen gran cantidad de estas, es importante contar por lo menos con una trampa de grasa, ya que las altas concentraciones de estas, pueden causar problemas en el pre-tratamiento y en el alcantarillado. (Münch, 2009)

El tanque séptico es el componente más utilizado en los lugares con instalaciones sanitarias para el tratamiento descentralizado de las aguas residuales domésticas, debido a su simple construcción. Se puede utilizar para tratamientos primarios de las aguas residuales desde 5 hasta 500 habitantes. (Münch, 2009)

El tanque séptico, está compuesto de dos a tres cámaras con una profundidad de 1,4 m (o más) desde el punto de la tubería de entrada.

En un sistema compuesto por tres cámaras, la primera está diseñada con el 50% del volumen total y está conectada con la segunda cámara entre los 60-80 cm del suelo, para permitir que los sólidos sedimenten y la nata superficial se mantenga en la primera cámara.(Münch, 2009)

La tercera cámara es utilizada como el reservorio, puede ser equipado con una bomba para enviar el agua hacia el siguiente paso del tratamiento. (Münch, 2009)

5.5.3 Tanque Baffled

El tanque Baffled, es un tanque Séptico mejorado o un UASB simplificado, para el tratamiento primario de aguas residuales en comunidades de 200 a 2,500 personas.

El Tanque Baffled tiene de 4 a 6 compartimentos, el tiempo de retención total es superior al de un tanque séptico. (Münch, 2009)

La carga orgánica del efluente es reducida aproximadamente en un 60% en clima cálido, en consecuencia, la producción de biogás es más alto que en los tanques sépticos y el biogás debe ser quemado (raramente se hace).

Los lodos son estabilizados anaeróbicamente y pueden ser utilizados en la agricultura.

5.5.4 Reactor UASB (Upflow Anerobic Sludge Bed Reactor)

El reactor UASB es una tecnología especial para el tratamiento anaerobio de aguas residuales desarrollada por el Doctor Gazte Lettinga (v. Haandel & Lettinga, 1995).

Es usado frecuentemente en climas cálidos para el tratamiento de aguas residuales municipales. (Münch, 2009)

Hay muchas aplicaciones en el Brasil para las aguas residuales municipales. El uso se recomienda en clima tropical para alturas inferiores a 2000 msnm.

El afluente entra por la parte inferior del UASB y debido a la alta carga de bacterias anaerobias del lodo en el reactor, se forman gránulos que filtran las aguas residuales biológica y mecánicamente. La salida del efluente ya clarificado y el biogás captado, es por la parte superior del reactor. (Münch, 2009)

El Reactor UASB tiene una eficiencia de remoción hasta del 80% de DBO₅, tiene una baja producción de lodos y el total de biogás captado puede ser utilizado o incinerado. (Münch, 2009)

5.5.5 tanques Imhoff

Los tanques Imhoff constan de un único depósito, en el que se separa la zona de sedimentación, que se sitúa en la parte superior, de la de digestión de los sólidos decantados, que se ubica en la zona inferior del depósito. La configuración de la apertura que comunica ambas zonas, impide el paso de gases y partículas de fango de la zona de digestión a la de decantación y de esta forma se evita que los gases que se generan en la digestión, afecten a la decantación de los sólidos en suspensión sedimentables. Para minimizar los riesgos de colmatación del sustrato filtrante en los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial vertical, es de vital importancia el correcto dimensionamiento y operación de los elementos constitutivos del Tratamiento Primario. (Bocardo, 2010).

6. DATOS DE ESTRUCTURA Y OPERACIÓN DE HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL.

En la siguiente sección se recopilan características de estructura y operación que han sido utilizados en humedales de flujo subsuperficial vertical.

6.1 Especie de vegetación usada en humedales de flujo subsuperficial vertical.

Tabla 9. Vegetación más usada en humedales de flujo subsuperficial vertical.

Referencia	Especie de planta usada en el humedal	Observaciones
Rodríguez, Jácome, Suarez, Molina. 2013.	Iris pseudacorus	
Oscar Delgadillo Alan Camacho, Luis F. Pérez, Mauricio Andrade.	Totora (Scirpus californicus)	Humedal usado después de una laguna de estabilización
Camilo Eduardo Espinosa Ortiz	Scirpus	
Juan Pablo Silva V.	Typha sp,	
Elisabeth von Münch	Cyperus papyrus	
Servei d'Estudis i Planificació. 2011.	iris (Iris sp), Acorus calamus),	

Direcció General de Recursos Hídrics Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient i Territori		
Diego Alejandro Garcia, Diana Carolina Leal.	arrizos, juncos, aneas,	

6.2 Tipo de sustrato usado por los diferentes autores en el desarrollo de humedales de flujo subsuperficial vertical.

Tabla 10. Material y profundidad del lecho filtrante usados en humedales de flujo subsuperficial vertical

Referencia	Profundidad de capas	Profundidad total lecho filtrante (m)
Rodríguez, Jácome, Suarez, Molina. 2013.	Arena gruesa 20cm+ Turba 10cm+Grava media 40 cm+Grava gruesa 10cm	0,8
Oscar Delgadillo Alan Camacho, Luis F. Pérez, Mauricio Andrade.	0.3 m Arena fina+0.2 m grava fina+0.3 m grava	0.8

Camilo Eduardo Espinosa Ortiz. 2014	Arena gruesa	0.6
Juan Pablo Silva V.	capa superior de suelo de 0,3 m + capa filtrante superior con un espesor de 0,4 m + una capa filtrante intermedia con un espesor de 0,7 y + la capa filtrante más baja con un espesor de 0,4 m	1.8
Elisabeth von Münch. 2009	30 cm con grava fina, capa de transición de 30 cm+ 20 capa de drenaje	0.8
Diego Alejandro Garcia, Diana Carolina Leal.	-----	0.8
Garcia 2010; Pereira	80cm Grava (10mm)	0,8
Paredes, 2014; Pereira	75cm Arena(2mm)	0.75

Platzer. et al 2007; Palhoca, Brasil	80cm Arena (0,3-1,7mm);+ 20cm Grava (10-20)	1
Bohorquez, 2015; Pereira	80 cm arena (d ₁₀ =0,34mm, d ₆₀ =0,9mm); 10 cm de grava gruesa en fondo	0.90
Bohorquez, 2015; Pereira	80 cm grava (d ₁₀ =5mm, d ₆₀ =12mm); 10 cm de grava gruesa en fondo	0.90
Gonzalez, 2014; Pereira	grava media y grava gruesa	0.80

6.3 DATOS DE CARGA HIDRAULICA Y CARGA ORGANICA SUPERFICIAL APLICADA.

Tabla 11. Datos de operación usados en la actualidad por diferentes autores.

Referencia	área m2	Caudal (L/d)	Concentración de entrada (mg/l)	carga hidráulica (Cm/d)	carga orgánica Superficial aplicada	Observaciones
Rodríguez, Jácome, Suarez, Molina. 2013, Fase I (HFV2)	1,3	108	SS: 29 DQOT: 141 DQOS: 82	8,3	11,7	Humedal Con plantas
Rodríguez, Jácome, Suarez, Molina. 2013, Fase I (HFV4)	1,3	115,2	SS: 29 DQOT: 141 DQOS: 83	8,8	12,4	Humedal sin plantas
Rodríguez, Jácome, Suarez, Molina. 2013, Fase II (HFV2)	1,3	54	SS: 29 DQOT: 141 DQOS: 84	4,4	4,7	Humedal Con plantas
Rodríguez, Jácome, Suarez,	1,3	57,6	SS: 29 DQOT: 141 DQOS: 85	4,2	4,9	Humedal sin plantas

Molina. 2013, Fase II (HFV4)						
Rodríguez, Jácome, Suarez, Molina. 2013, Fase III (HFV2)	1,3	216	SS: 29 DQOT: 141 DQOS: 86	16,6	14	Humedal Con plantas
Rodríguez, Jácome, Suarez, Molina. 2013, Fase III (HFV4)	1,3	230,4	SS: 29 DQOT: 141 DQOS: 87	17,6	14,8	Humedal sin plantas
Camilo Eduardo Espinosa Ortiz. 2014	3.173	6.06				---
Juan Pablo Silva V.	5	--	---	30		Etapa I
Elisabeth von Münch. 2009	1.7	82	----	---	70	---
Diego Alejandro Garcia, Diana Carolina	1.33	15.98	DBO ₅ : 90	0.14	44.8	---

Leal.						
Garcia 2010; Pereira	0,24	24	DBO ₅ ; 112	10	11,2	---
Paredes, 2014; Pereira	1,1	166	DBO ₅ : 217,2	15,09091	32,77745	---
Platzer. et al 2007; Palhoca, Brasil	4,44	650	DBO ₅ : 189	14,6396396	27,6689189	---
Platzer. et al 2007; Palhoca, Brasil	4,44	910	DBO ₅ : 170	20,4954955	34,8423423	Aumento del caudal de entrada.
Bohorquez, 2015; Pereira	1,09	150	DBO ₅ : 246,38	13,76147	33,9055	---

Gonzalez, 2014; Pereira	43,25	7536	DBO ₅ : 67	17,42428	11,67427	---

Cuando la carga orgánica superficial aplicada, sobre pasa el valor recomendado que es (30-35 g de DBO₅ (m⁻² d⁻¹)), quiere decir es que se está utilizando un área menor a la requerida, por lo que se presenta riesgo de obstrucción y se disminuiría la vida útil del mismo.

6.4 PULSOS

Tabla 12. Pulsos de los humedales usados por distintos autores en los últimos años.

Pulsos.				
Referencia	Numero de pulsos día	Duración de pulso en minutos	pausa entre pulso minutos	observaciones
Rodríguez, Jácome, Suarez, Molina. 2013, Fase I	4	3	57	Se aplicó la misma cantidad de pulsos a cada humedal, según la fase.
Rodríguez, Jácome, Suarez,	4	3	57	Se aplicó la misma cantidad

Molina. 2013, Fase II				de pulsos a cada humedal, según la fase.
Rodríguez, Jácome, Suarez, Molina. 2013, Fase III	4	3	57	Se aplicó la misma cantidad de pulsos a cada humedal, según la fase.
Elisabeth von Münch. 2009	4-12 veces	---	---	Con el fin de provocar la oxigenación del suelo
Paredes, 2014; Pereira	10	---	----	---
Paredes, 2014; Pereira	20	---	----	---
Platzer. et al 2007; Palhoca, Brasil	4	--	---	---
Bohorquez, 2015; Pereira	10 o 20	---	----	---

Gonzalez, 2014; Pereira	72	---	---	---
----------------------------	----	-----	-----	-----

Es muy importante controlar los pulsos en un humedal de flujo subsuperficial vertical, ya que de este depende el caudal de agua a tratar, si no se controla, se puede saturar el sistema, ocasionando colmatación temprana del lecho filtrante.

La oxigenación del lecho filtrante y la eficiencia del humedal, depende de los pulsos, debido a que estos inyectan oxígeno atmosférico al sustrato, lo que permite el incremento de la tasa de transferencia de oxígeno (Cooper, 1999; Nivala et al., 2013; Schwager y Boller, 1997), lo que conlleva a optimizar los procesos de oxidación de la materia orgánica y la nitrificación.

6.5 EFICIENCIA DE REMOCION.

Tabla 13. Eficiencia de humedales de flujo sub superficial vertical en los últimos tiempos.

Referencia	Concentraciones de entrada (mg /L)	Concentraciones de salida (mg /L)	carga orgánica Superficial aplicada	% de remoción	Observaciones
Rodríguez, Jácome, Suarez, Molina. 2013	---	---	11,7	DQO 81 % N amoniacal 75-96%	Humedal con Iris pseudacorus

Rodríguez, Jácome, Suarez, Molina. 2013,	---	---	12,4	DQO: 68% N amoniacoal 76-83 %	Humedal sin plantas
Camilo Eduardo Espinosa Ortiz. 2014	DBO ₅ : 57,7	DBO ₅ :30		DBO ₅ : 48%	
	N amoniacoal: 4,83	N amoniacoal: 5,45		N amoniacoal: 0.13%	
	Sst: 58.5	Sst: 5.7		Sst: 90.25 %	
Elisabeth von Münch. 2011	DBO ₅ :30-35	DBO ₅ :3-5	70	Los sólidos en suspensión y la materia orgánica pueden ser removidos en un 90- 99%	
García 2010; Pereira	DBO ₅ :112	DBO ₅ :3.36	11,2	97%	
Paredes, 2014; Pereira	DBO ₅ :217,2	DBO ₅ :4,3	32,77745	98,02026	
Paredes,	DBO ₅ :217,2	DBO ₅ :6.5	33,77745	97	

2014; Pereira					
Platzer. et al 2007; Palhoca, Brasil	DBO ₅ : 189	DBO ₅ : 29	27,66	84.6	
Platzer. et al 2007; Palhoca, Brasil	DBO ₅ :170	DBO ₅ :14	34,84	91	
Bohórquez, 2015; Pereira	DBO ₅ :246,38	DBO ₅ :9,9	33,9	95	Material medio filtrante Arena
Bohórquez, 2015; Pereira	DBO ₅ :246,38	DBO ₅ :128	34,9	48	Material medio filtrante (grava)
González, 2014; Pereira	DBO ₅ : 67	DBO ₅ : 23,785	11,67	64.5	

Tabla 14. Comparación de rendimientos observados en otros HAFV

AUTOR	CARGA	RENDIMIENTO
Barros, 2009 8- 23	8- 23 g DBO ₅ /m ² /d	80 % DBO ₅ 60-80 % NH ₄ ⁺
Matamoros et al., 2007	3- 37 g DBO ₅ /m ² /d (CH: 1.3 – 16 cm/d)	97 - 99 % DBO ₅ 99 % NH ₄ ⁺

Salas, 2010	17 g DBO ₅ /m ² /d	94 % DBO ₅ 88 % DQO 67 % NH ₄
Tietz et al., 2007	20 g DQO/m ₂ /d (CH: 6 cm/d)	95 % DQO 99 % NH ₄ ⁺
Jácome. A., 2014	4.6 – 14 g DQO/m ₂ /d (CH: 4 – 17 cm/d)	76 - 85 % DQO 75 – 96 % NH ₄ ⁺
Ospina. C., 2014	DBO ₅ mg/L: 57,7 + 33,72	48%

(Burgos, Experiencias con humedales de flujo subsuperficial, 2014)

7. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS (RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO Y OPERACIÓN)

En el transcurso de la revisión bibliográfica se evidenció el poco desarrollo investigativo que presenta el tema de humedales de flujo vertical en países de clima tropical.

Se resalta la importancia del requerimiento de sistemas de pretratamiento y sistemas de tratamiento primario, con un adecuado nivel de remoción de sólidos en suspensión.

El pre-tratamiento es sumamente importante para evitar la obstrucción del humedal artificial de flujo subsuperficial vertical (obstrucción de los poros debido a la acumulación de sólidos). (Münch, 2009). Entre mayor sea la remoción en el tratamiento primario, menor será el área requerida del humedal vertical; lo cual se puede evidenciar en la ecuación de carga orgánica superficial aplicada. Por ejemplo, un humedal artificial que trata el efluente de un tanque Baffled tendrá sólo el 60% de la superficie que ocuparía si no se contase con este tipo de pretratamiento. (Münch, 2009).

Los estudios de los autores García, Gonzales, Rodríguez y von Münch, coinciden en que el medio de filtración de los humedales debe ser de 0.8 metros, donde los materiales y profundidad de los mismos depende del tipo de agua residual a tratar y de lo expuesto en el principio de esta página. Los autores Rodríguez-González María Reyes, Jácome-Burgos Alfredo, Molina-Burgos Judith y Suárez-López Joaquín, proponen que el medio filtrante este compuesto por cuatro diferentes materiales, distribuidos de arriba – abajo de la siguiente forma: arena gruesa, turba, grava media (o gravilla) y grava gruesa; donde los 80 cm de medio filtrante están distribuidos de la siguiente forma: Arena gruesa 20 cm + Turba 10 cm + Grava media 40 cm + Grava gruesa 10 cm).

El espesor de las capas del medio filtrante se recomendó basados en las investigaciones y humedales piloto de los autores (Platzer, 1998; Cooper, 1999; Brix y Arias, 82005; García y Corzo, 2008).

Barros (2009) evaluó la permeabilidad de varias configuraciones de estos materiales y llegó a la conclusión de que la turba es un material que permitiría un mayor tiempo de retención hidráulica para las transformaciones bioquímicas de los contaminantes.

Varios investigadores han informado que la presencia de la vegetación distribuye y reduce la velocidad de las corrientes en los humedales (Pettecrew y Kalff, 1992), lo que favorece la retención de sólidos por filtración. De igual forma al encontrarse plantas y un lecho filtrante adecuado, se garantiza una mejor homogenización de la distribución del agua a tratar.

Con respecto al tipo de plantas utilizadas en los humedales de flujo vertical, la Dra. Elisabeth von Münch, en su investigación llamada “Humedales Artificiales para el tratamiento de aguas grises y aguas residuales domésticas en países en desarrollo”, recomienda una amplia variedad de plantas como el bambú, Papyrus, Junco - Typha latifolia y Especies del género Heliconia; ya que estas plantas se encuentran en climas tropicales y son de fácil acceso.

En la última década, se han desarrollado estudios para evaluar el comportamiento de plantas del género Heliconia, debido a que la mayoría de macrófitas emergentes pueden trasportar oxígeno de las hojas a las raíces, se presentan micro-zonas aeróbicas en la superficie de las raíces y los rizomas, lo cual crea las condiciones en la zona de raíz de la planta que ayudan al desarrollo de

microorganismos que participan en la descomposición de materia orgánica y la nitrificación, respectivamente (Brix, 1993).

En cuanto a porcentajes de remoción depende significativamente del tiempo de retención hidráulico y de la carga orgánica superficial aplicada.

Los humedales de flujo subsuperficial vertical, presentan un gran porcentaje de eficiencia que van desde el 70 al 98 %. En la tabla número 7, se pueden apreciar diferentes autores donde exponen las diferentes concentraciones de entrada y de salida de algunos parámetros, demostrando así su porcentaje de eficiencia según corresponda.

En comparación con los humedales de flujo horizontal, los humedales verticales presentan mayor eficiencia en cuanto a uso de área, es decir requieren de menos área. Esto conlleva a un ahorro significativo de costos asociados a compra de terreno y en su implementación.

Para determinar el área mínima del humedal, es importante utilizar el criterio de carga orgánica superficial aplicada; y también recopilar datos de humedales que operen en zonas relativamente cercanas con características similares de clima.

La recolección de datos deben ser específicamente, datos de concentraciones de entrada, concentraciones de salida, carga orgánica superficial aplicada, carga hidráulica, y remoción en unidades (masa removida) / (área • tiempo). Estos datos permiten definir el área que se requiere para lograr ciertos niveles de remoción, con mayor certeza.

Teniendo en cuenta todo lo dicho anteriormente, sería bueno que universidades e institutos incentiven la investigación y desarrollo en este tipo de temas ya que son temas poco desarrollados en la región y es algo que traerá consigo una serie de beneficios tanto educativos, sociales y ambientales; ayudando a poblaciones que no cuenten con un sistema de alcantarillado para sus descargas o simplemente contribuir a la preservación y conservación del ambiente.

8. CONCLUSIONES

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical, son una tecnología viable para el tratamiento de aguas residuales, en especial cuando estas son de origen doméstico.

Una gran problemática que se evidencio en el desarrollo del presente documento es que este tema no ha sido estudiado a profundidad en países de clima tropical, concentrándose todos los estudios en países de clima frio; lo que conlleva a fomentar la realización de estudios e investigación para el diseño, operación y funcionamiento de este tipo de tratamientos a condiciones locales.

Al incluir arena en la conformación del medio filtrante, se observa que el humedal tiene una mayor capacidad de remover materia orgánica, sólidos en suspensión, nitrógeno amoniacal y patógenos, en comparación de un medio filtrante conformado solo por grava. Sin embargo, esto trae mayores riesgos de obstrucción.

Los humedales de flujo subsuperficial vertical, generan un ambiente aerobio, lo cual facilita la remoción de materia orgánica y nitrógeno amoniacal.

Para un menor riesgo de obstrucción, es necesario que el afluente a tratar pase por un pre tratamiento, y un tratamiento primario antes de ingresar al humedal; de este modo se extiende considerablemente la vida del humedal.

En el momento de diseñar el humedal se debe tener en cuenta el tipo de vegetación ya que de esta dependerá gran parte de la eficiencia del humedal.

Este tratamiento puede tener futuro en países de vía de desarrollo que presenten clima tropical, donde satisfacer los requerimientos y necesidades del mismo como terreno, costos de diseño y operación sean menores. los humedales se recomiendan para zonas rurales, donde se disponga de terreno. Su gran requerimiento de área los hace poco viables para grandes centros poblados

Lo más importante en este caso es saber elegir el tamaño del medio granular, ya que esto afecta el flujo hidráulico del humedal, lo que podría conllevar a conseguir una mayor capacidad de

absorción y tratamiento o por el contrario obstruir el mismo y ocasionar pérdidas de tiempo y dinero al tener que cambiarlo por uno nuevo que se adapte mejor a las características del agua residual y a las condiciones del humedal.

9. REFERENCIAS

ANÁLISIS GRANULOMETRICO. (28 de 03 de 2016). *Proyectos, apuntes y normas técnicas de Ingeniería Civil para compartir con todos, como también el conocimiento, algunos ejemplos y ejercicios teoricos practicos*. Obtenido de APUNTES INGENIERÍA CIVIL: <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com.co/2011/03/iii-analisis-granulometrico-curva-y.html>

Ayestas, J. C. (12 de 11 de 2013). *Fundamentos de sistemas de tratamiento mediante humedales Artificiales*. Obtenido de <https://1793ho.files.wordpress.com/2013/11/fundamentos-de-sistemas-de-tratamiento-mediante-humedales-artificiales.pptx>

Bocado, J. R. (2010). *Influencia del tipo y granulometría del sustrato en la depuración de las aguas residuales por el sistema de humedales artificiales de flujo vertical y horizontal*. Cadiz.

Burgos, A. J. (2014). *Experiencias con humedales de flujo subsuperficial*. Galicia.

CONAMA. (2014). *wetlands*. Obtenido de Tecnología No Convencional de tipo Biológico.

Corzo Hernández, A., & Garcia Serrano, J. (2008). *Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*. Catalunya.

European Commission Environment, WISE, Water Information System for Europe . (09 de 11 de 2011). *European Commission Environment*. Obtenido de http://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/implementation/factsfigures_en.htm

- GALLEGO, I. Y. (2010). *MONOGRAFÍA SOBRE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (HAFSS) PARA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES*. PEREIRA.
- Münch, D. E. (diciembre de 2009). *Technology review "Constructed Wetlands" (GTS)*. Obtenido de <http://www.gtz.de/en/themen/umweltinfrastruktur/wasser/9397.htm>
- Oscar Delgadillo, A. C. (2010). *Depuración de aguas residuales*. Cachamba.
- Pérez Villara, M. M. (Enero de 2015). *Diseño de un humedal subsuperficial vertical para la depuración de las aguas residuales de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas*.
- Valdés, O. G. (Enero de 2011). *Metodología para el diseño de humedales con flujo subsuperficial horizontal*. Obtenido de INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL: http://revistascientificas.cujae.edu.cu/.%5CRevistas%5CHidraulica%5CVol-XXXII%5C1-2011%5C61-70_Metodologia_para_el.pdf
- Smith, I. D.; Bis, G. N.; Lemon, E. R. y Rozema, L. R. (1997). *A thermal analysis of a subsurface, vertical flow constructed wetlands*. *Water Science and Technology*, 35: 55.
- Colombia. MADVT (2004). *Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. La infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamentales y municipales. Informe Panorama Nacional, Calidad del Agua*.
- Ascúntar R., D., Toro V., A. F. 2007. *Estudio del comportamiento hidrodinámico de humedales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Trabajo de Grado, Ingeniería Sanitaria. Universidad del Valle. Cali- Colombia*.
- Baker, N. R., Rosenqvist, E. 2004. *Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities*. *Journal of experimental botany*, 55:1607-1621.
- Barceló, J., Poschenrieder, C. 2003. *Phytoremediation: principles and perspectives*. *Contributions to science*, 2(3):333-334.

- Belmont, M. A., Metcalfe, C. D. 2003. *Feasibility of using ornamental plants (Zantedeschia aethiopica) in subsurface flow treatment wetlands to remove nitrogen, chemical oxygen demand and nonylphenol ethoxylate surfactants – a laboratory-scale study. Ecological engineering, 21:233-247.*
- Berry, F. H., Kress, W. Jhon. 1991. *Heliconia, An identification Guide. Estados Unidos, Smithsonian Institution Press. 334p.*
- Betancur, J., Kress, W. J. 1995. *Biodiversity and conservation of neotropical montane forests. Proc. Symposium, New York Botanical Garden. p. 513-523.* apia, F., Giacomán, G., Herrera, J. (2005).
- Tapia, F., Giacomán, G., Herrera, J. (2005). *Simulación de ecosistemas naturales (humedales artificiales con flujo subsuperficial) para el tratamiento de agua residual porcícola bajo condiciones tropicales. II Congreso Internacional Sobre Agua en la Frontera México-Guatemala- Belice. Campeche, Campeche. Pp. 8.*
- Barros de Oliveira M. *Estudio sobre los rendimientos de depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales con flujo vertical, tesis (máster en ingeniería del agua), España, Universidad de Coruña, 2009.*
- Ávila C., Salas J.J., Martín I, Aragón C, García J. (2013). *Integrated treatment of combined sewer wastewater and stormwater in a hybrid constructed wetland system in southern Spain and its further reuse. Ecological Engineering, 50: 13–20.*
- 2008 “Zonas húmedas construidas, una tecnología natural para la depuración de aguas residuales con fines de riego en municipios rurales y periurbanos” ponencia presentada en la “Reunión sudamericana para manejo y sustentabilidad de riego en regiones áridas”, Salvador, Bahía- Brasil, del 21 al 23 de octubre de 2008.
- Centro regional de investigaciones científicas y tecnológicas 2007 *Macrófitas, Gobierno de Mendoza, en www.cricyt.edu.ar*
- CONPES - Consejo Nacional de Política Económica y Social, (2014). *Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural. Bogotá, Colombia.*

- Cooper, P. (1999). *A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment systems. Water Science and Technology, 40(3), 1–9.*
- Cooper, P.F., Job, G.D., Green, M. B., y Shutes, R.B.E. (1996). *Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. (WRc Publications). Medmenham, Marlow, UK.*
- CONPES - Consejo Nacional de Política Económica y Social, (2014). *Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural. Bogotá, Colombia.*
- Brix, H., y Arias, C. A. (2003). *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Ciencia e Ingeniería Neogranadina.*
- Bohórquez, E y Paredes. D. (2015). *Efectos del medio filtrante y la frecuencia de alimentación en humedales construidos de flujo vertical para tratamiento de aguas residuales domésticas en condiciones tropicales.*
- Arenas, C y Jaramillo. M. 2015 *Planteamiento y evaluación de un tratamiento biológico para agua residual proveniente de proceso de minería aurífera*

10. ANEXOS FICHAS BIBLIOGRÁFICAS

Tabla 15. Ficha bibliográfica No 1

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 1
Título: Humedales Artificiales para el tratamiento de aguas grises y aguas residuales domésticas en países en desarrollo	
Autor(es): Elisabeth von Münch.	
Fuente bibliográfica: Elisabeth von Münch. (2009, diciembre). Humedales Artificiales para el tratamiento de aguas grises y aguas residuales domésticas en países en desarrollo. Recuperado en enero de 2016, Disponible en: http://www.gtz.de/en/themen/umweltinfrastruktur/wasser/9397.ht	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: <p>Los humedales artificiales de flujo subsuperficial tienen un alto potencial para la descentralización de los tratamientos de aguas residuales o aguas grises, sin embargo, no son la única tecnología y no siempre la solución más económica. La tecnología de tratamiento debe ser cuidadosamente seleccionada teniendo en cuenta una serie de aspectos. La necesidad de disponer de áreas relativamente grandes y la necesidad de cierto volumen de arena gruesa puede limitar el uso de humedales artificiales, especialmente en gran escala para las zonas urbanas. Un humedal artificial (HA) de Flujo Vertical (FV) con capacidad para 3.000 personas equivalente (PE) por ejemplo, necesita alrededor de 3.000 a 10.000 m² (dependiendo del clima y el diseño). Un Humedal de Flujo Horizontal (HFH) necesita por lo menos el doble de ésta área. En clima subtropical los humedales de FH tienen el mismo requerimiento en superficie que las lagunas de tratamiento.</p>	
Palabras nuevas: Humedal artificial Flujo subsuperficial Contaminantes Aguas residuales	
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor:	

¿Por qué elegir humedales artificiales?
<p>Análisis interpretativo por el revisor:</p> <p>Es de gran importancia resaltar que en el diseño de humedales se tiene que considerar siempre las circunstancias locales específicas, tales como clima (temperatura), disponibilidad de tierras y la reutilización prevista o vía de eliminación del efluente.</p>
<p>Referencias de interés que cita el autor:</p> <p>GTZ (2008) FAQs Constructed Wetlands. A Sustainable Option for Wastewater Treatment in the Philippines, GTZPhilippines and Bayawan City</p> <p>http://www2.gtz.de/Dokumente/oe44/ecosan/en-FAQsconstructed-wetlands-2008.pdf</p> <p>Hammer, D. A. and Bastian, R. K. (1989) Wetland ecosystems: Natural water purifiers? Pp. 5- 20. In Constructed wetlands.</p>

Tabla 16. Ficha bibliográfica No 2

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 2
Título: comparative study of the organic matter removal in horizontal subsurface flow constructed wetlands using three species of macrophytes	
Autor(es): Jorge Ignacio Montoya. Leonardo Ceballos, Juan Carlos Casas, Jordi Morató.	
Fuente bibliográfica: Jorge Ignacio Montoya. Leonardo Ceballos, Juan Carlos Casas, Jordi Morató (junio 2011). comparative study of the organic matter removal in horizontal subsurface flow constructed wetlands using three species of macrophytes. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372010000200007	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto:	
<p>Los sistemas de tratamiento de aguas residuales en casi la totalidad de los países de América Latina están muy distantes de lo requerido en materia ambiental. Las subregiones latinoamericanas presentan diferencias muy marcadas tanto en el aspecto socioeconómico como en sus características físicas, ambientales y tecnológicas. Colombia, en general, cuenta con sistemas para tratar el 20 % de las aguas residuales</p>	

<p>producidas en el área urbana, pero sólo se da efectivamente en un 10 %. Esta situación, comparada con la de 1990 cuando se trataba el 5 %, puede entenderse como un avance en el tratamiento de efluentes urbanos, pero aún resta camino por recorrer en este aspecto. En la actualidad muchas de las fuentes y de los efluentes se están contaminando por materia orgánica.</p>
<p>Palabras nuevas:</p> <p>chemical oxygen demand biochemical oxygen demand wastewater constructed wetland macrophytes organic matter.</p>
<p>Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor:</p> <p>¿Qué especie de planta funciona mejor y que condiciones?</p>
<p>Análisis interpretativo por el revisor:</p> <p>Los humedales construidos, en particular los de sistemas de flujo subsuperficial horizontales, se han desarrollado prioritariamente para remover materia orgánica de aguas residuales domésticas.</p> <p>La depuración de aguas residuales en estos sistemas se presenta en lo fundamental debido a procesos biológicos asociados con las raíces de las plantas y medio granular</p>
<p>Referencias de interés que cita el autor:</p> <p>No aplica.</p>

Tabla 17. Ficha bibliográfica No 3

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 3
Título: Bioprospecting of native plants for their use in bioremediation process: heliconia psittacorum case (heliconiaceae)	
Autor(es): Peña-Salamanca Enrique J, Madera-Parra Carlos A., Sánchez, Jesús M, Medina-Vásquez Javier.	
Fuente bibliográfica: Peña-Salamanca Enrique J, Madera-Parra Carlos A., Sánchez, Jesús M, Medina-Vásquez Javier. Bioprospecting of native plants for their use in bioremediation process: heliconia psittacorum case (heliconiaceae). Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0370-39082013000400004&script=sci_arttext	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En las eco tecnologías de tratamiento como el caso de los humedales artificiales, las plantas cumplen un papel preponderante en la transformación de las sustancias tóxicas que allí se depositan. Éstas deben adaptarse a una situación de estrés por cuanto están expuestas a la contaminación. La evaluación de parámetros fisiológicos como el potencial hídrico, retención y eliminación de nitrógeno (N) y las tasas fotosintéticas, sirven de indicadores de la capacidad de respuesta de la planta.	
Palabras nuevas: Phytoremediation constructed wetlands hyper accumulator plants	
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿Qué ventajas trae implementar la fitorremediación?	
Análisis interpretativo por el revisor: El uso de plantas nativas es la mejor opción para incluir en un tratamiento como el humedal, debido a que estas estas ya adaptadas a las características de la zona donde se piensa implementar el sistema de tratamiento.	
Referencias de interés que cita el autor:	

No aplica.

Tabla 18. Ficha bibliográfica No 4

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 4
Título: Domestic wastewater phytodepuration with poaceas: brachiaria mutica, panicum maximum and pennisetum purpureum in popayán, cauca	
Autor(es): Giovanni Hernán Palta Prado, Sandra Morales Velasco.	
Fuente bibliográfica: Giovanni Hernán Palta Prado, Sandra Morales Velasco. Domestic wastewater phytodepuration with poaceas: brachiaria mutica, panicum maximum and pennisetum purpureum in popayán, cauca. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612013000200007&script=sci_arttext	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En la actualidad existen diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales; van desde primarios, que mejoran las características físicas, hasta terciarios, que permiten el reúso del agua en diferentes actividades del hombre. Entre las tecnologías más utilizadas se hallan los humedales artificiales o Wetlands (Superficiales – Subsuperficiales) donde las especies vegetales frecuentemente utilizadas son Eichhornia crassipes, Lemna minor y Pistia stratiotes, Elodea canadensis, Cerato phyllumdemersum, Alternanthera philoxeroides y las especies emergentes Scirpus l., Juncos, Sagittaria sp., y Phragmites australis	
Palabras nuevas: Wetlands Subsurface flow Removal	
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿Qué está haciendo Colombia con sus aguas servidas?	

<p>Análisis interpretativo por el revisor:</p> <p>En Colombia, aproximadamente 300 municipios no realizan depuración de las aguas que se están consumiendo y 450 no tienen planta de tratamiento, el caso crítico se presenta en la cuenca del Magdalena-Cauca (25% del área territorial), con un 70% de la población y sólo 11 % de la oferta hídrica del país, ocasionando que cerca de 1300 cuerpos de agua están siendo contaminados por ser los receptores de los vertimientos municipales; lo anterior es muy preocupante ya que Colombia, es un país con gran potencial hídrico y si no se cuida tan preciado recurso, podría terminar con problemas de abastecimiento de agua potable.</p>
<p>Referencias de interés que cita el autor:</p> <p>No aplica.</p>

Tabla 19. Ficha bibliográfica No 5

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 5
Título: comparative study of the organic matter removal in horizontal subsurface flow constructed wetlands using three species of macrophytes	
Autor(es): Jorge Ignacio Montoya. Leonardo Ceballos, Juan Carlos Casas, Jordi Morató.	
Fuente bibliográfica: Jorge Ignacio Montoya. Leonardo Ceballos, Juan Carlos Casas, Jordi Morató.. comparative study of the organic matter removal in horizontal subsurface flow constructed wetlands using three species of macrophytes. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372010000200007	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Los sistemas de tratamiento de aguas residuales en casi la totalidad de los países de América Latina están muy distantes de lo requerido en materia ambiental. Las subregiones latinoamericanas presentan diferencias muy marcadas tanto en el aspecto socioeconómico como en sus características físicas, ambientales y tecnológicas. Colombia, en general, cuenta con sistemas para tratar el 20 % de las aguas residuales producidas en el área urbana, pero sólo se da efectivamente en un 10 %. Esta situación, comparada con la de 1990 cuando se trataba el 5 %, puede entenderse como un avance en	

<p>el tratamiento de efluentes urbanos, pero aún resta camino por recorrer en este aspecto. En la actualidad muchas de las fuentes y de los efluentes se están contaminando por materia orgánica.</p>
<p>Palabras nuevas:</p> <p>chemical oxygen demand biochemical oxygen demand wastewater constructed wetland macrophytes organic matter.</p>
<p>Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor:</p> <p>¿Qué especie de planta funciona mejor y que condiciones?</p>
<p>Análisis interpretativo por el revisor:</p> <p>Los humedales construidos, en particular los de sistemas de flujo subsuperficial horizontales, se han desarrollado prioritariamente para remover materia orgánica de aguas residuales domésticas.</p> <p>La depuración de aguas residuales en estos sistemas se presenta en lo fundamental debido a procesos biológicos asociados con las raíces de las plantas y medio granular</p>
<p>Referencias de interés que cita el autor:</p> <p>No aplica.</p>

Tabla 20. Ficha bibliográfica No 6

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 6
Título: Depuración con Humedales Construidos	
Autor(es): Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández.	
Fuente bibliográfica: Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández. (noviembre 2008) Depuración con Humedales Construidos. Disponible en: http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2474/JGarcia_and_ACorzo.pdf?sequence=1&isAllowed=y	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Los sistemas naturales son aquellos que logran la eliminación de las sustancias contaminantes de las aguas residuales a través de mecanismos y procesos naturales los cuales no requieren de energía externa ni de aditivos químicos. En estos sistemas un buen número de procesos de descontaminación son ejecutados por sinergia de diferentes comunidades de organismos.	
Palabras nuevas: Medio Granular. Material en suspensión. Nitrificación.	
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿sistemas naturales de depuración?	
Análisis interpretativo por el revisor: Existen dos grandes diferencias entre un sistema de tratamiento convencional de un sistema natural y son un nulo consumo energético para descontaminar y una mayor superficie de tratamiento.	
Referencias de interés que cita el autor: No aplica.	

Tabla 21. Ficha bibliográfica No 7

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 7
Título: Humedales de flujo subsuperficial: una alternativa natural para el tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas tropicales.	
Autor(es): Miguel R. Peña Varón, Meike Van Ginneken, Carlos A. Madera P	
Fuente bibliográfica: Miguel R. Peña Varón, Meike Van Ginneken, Carlos A. Madera P. Humedales de flujo subsuperficial: una alternativa natural para el tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas tropicales. Disponible en: http://revistaingenieria.univalle.edu.co:8000/index.php/incompe/article/view/62	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Un humedal artificial (Wetland) es un sistema complejo de medio saturado, diseñado y construido por el hombre, con vegetación sumergida y emergente y vida animal acuática que simula un humedal natural para el uso y beneficio humano. Existen dos tipos de humedales, los de flujo superficial y subsuperficial. Los humedales de flujo subsuperficial (HFS) se diseñan y construyen para que el agua fluya a través de la zona radicular de la vegetación y por lo tanto no presentan una superficie libre de flujo. Este sistema consiste en una excavación que contiene un lecho de material filtrante que generalmente es grava, el cual soporta el crecimiento de la vegetación emergente. En esencia, un humedal de flujo subsuperficial se clasifica como un sistema de tratamiento de película fija.	
Palabras nuevas: Aguas residuales domésticas. humedales artificiales. humedal de flujo subsuperficial. sistemas naturales.	
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿Por qué existe poca información sobre este tipo de tratamientos?	
Análisis interpretativo por el revisor:	

Los sistemas naturales de tratamiento (SN) están surgiendo como alternativas de bajo costo, fáciles de operar y eficientes en comparación con los sistemas de tratamiento convencional para una amplia gama de aguas residuales.
Referencias de interés que cita el autor: No aplica.

Tabla 22. ficha bibliográfica No 8.

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 8
Título: depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: la Edar de los Gallardos (Almería)	
Autor(es): Agustín Lahora	
Fuente bibliográfica: Agustín Lahora, depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: la Edar de los Gallardos (Almería). Disponible en: http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2244838.pdf	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Los humedales naturales son complejos mosaicos de láminas de agua, vegetación sumergida, vegetación flotante, vegetación emergente y zonas con nivel freático más o menos cercano a la superficie, en los que el suelo se mantiene saturado de agua durante un largo periodo de tiempo cada año. En los humedales crecen vegetales, animales y microorganismos especialmente adaptados a estas condiciones ambientales. Estos seres vivos, junto a procesos físicos y químicos, son capaces de depurar el agua, eliminando grandes cantidades de materia orgánica, sólidos, nitrógeno, fósforo y, en algunos casos, productos químicos tóxicos; por esta razón se ha llamado a los humedales “los riñones del mundo.	
Palabras nuevas: Nivel freático.	

compuestos inorgánicos Metales pesados
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿Qué tipo de plantas son las más recomendables para un humedal?
Análisis interpretativo por el revisor: Un tipo especial de macrófitos son los helófitos, plantas capaces de arraigar en suelos anegados o encharcados, con una parte sumergida y otra aérea emergente. Los helófitos, más usados en depuración son aneas (<i>Typha</i>), carrizos (<i>Phragmites</i>), juncos (<i>Juncus</i>), <i>Scirpus</i> , <i>Carex</i> , etc. Los helófitos son capaces de transportar oxígeno desde los tallos y hojas hacia sus raíces y rizomas, pero en los humedales de flujo subsuperficial la cantidad de oxígeno aportada es muy pequeña en comparación con la demanda de las aguas residuales, por lo que los procesos de eliminación de materia orgánica son básicamente anaerobios.
Referencias de interés que cita el autor: No aplica.

Tabla 23. Ficha bibliográfica No 9

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 9
Título: Implantación y evolución de un humedal artificial de flujo subsuperficial en Cogua, Cundinamarca, Colombia.	
Autor(es): Jaime Andrés Lara Borrero, Ismael Leonardo Vera Puerto.	
Fuente bibliográfica: Jaime Andrés Lara Borrero, Ismael Leonardo Vera Puerto. Implantación y evolución de un humedal artificial de flujo subsuperficial en Cogua, Cundinamarca, Colombia. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/jaime_lara-borrero/publication/230888087_implantacin_y_evolucin_de_un_humedal_artificial_de_flujo_subsuperficial_en_cogua_cundinamarca_colombia/links/0fcfd505c9cc8c275a000000.pdf	

<p>Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto:</p> <p>Las macrófitas emergentes hacen que el sustrato mantenga los procesos microbianos, al transmitir oxígeno de las hojas a sus raíces, mientras que el resto del ambiente sumergido del humedal tiende a estar desprovisto de oxígeno. La disponibilidad limitada de oxígeno en los Sistemas de Flujo Subsuperficial (SFS) reduce la capacidad para la remoción de amoníaco vía nitrificación biológica. Si dicho proceso es necesario, se recomienda el uso de un humedal de flujo vertical.</p>
<p>Palabras nuevas:</p> <p>Humedales artificiales. Nutrientes del agua residual</p>
<p>Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor:</p> <p>¿Qué criterios se deben tener en cuenta para diseñar un humedal?</p>
<p>Análisis interpretativo por el revisor:</p> <p>No existe un criterio único para el diseño de un humedal de flujo subsuperficial; en la literatura especializada es posible encontrar variedad de métodos. Una de las hipótesis básicas, y en la que coinciden diferentes autores, es considerar los humedales como reactores biológicos, cuyo rendimiento se puede aproximar al descrito por la cinética de primer orden de flujo pistón. La tarea consiste en determinar las dimensiones del humedal y estimar las eficiencias de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitrógeno, fósforo, sólidos totales y coliformes fecales.</p>
<p>Referencias de interés que cita el autor:</p> <p>No aplica.</p>

Tabla 24. Ficha bibliográfica No 10.

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 10
---	---

Título: Passive treatment of acid mine drainage: present status and the future perspectives
Autor(es): E. López Pamo, O. Aduvire y D. Baretino.
Fuente bibliográfica: E. López Pamo, O. Aduvire y D. Baretino.. Passive treatment of acid mine drainage: present status and the future perspectives. Disponible en: http://www.igme.es/Boletin/2002/113_1_2002/4-ARTICULO%20TRATAMIENTOS.pdf
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Los métodos de tratamiento pasivo más utilizados son los humedales artificiales (aerobios o anaerobios), los drenajes anóxicos calizos, los sistemas de producción de alcalinidad, y cuando el problema se manifiesta en aguas subterráneas, las barreras reactivas permeables. El objetivo principal en todos ellos es la supresión de la acidez, la precipitación de los metales pesados y la eliminación de los sólidos en suspensión. Para ello actúan cambiando las condiciones de Eh y pH del influente de forma que se favorezca la formación de especies insolubles que precipiten y retengan la carga contaminante.
Palabras nuevas: acid mine drainage constructed wetlands passive treatment permeable reactive barriers
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿Sistemas pasivos?
Análisis interpretativo por el revisor: En el diseño y la configuración del tratamiento se debe asegurar una buena circulación y distribución del influente dentro del sistema, con el fin de maximizar el tiempo de contacto entre el flujo de agua contaminada con los elementos y materiales que componen cada dispositivo de tratamiento.
Referencias de interés que cita el autor: No aplica.

Tabla 25. Ficha bibliográfica No 11

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 11
Título: Humedal subsuperficial de flujo vertical como sistema de depuración terciaria en el proceso de beneficiado de café	
Autor(es): Carlos E. OROZCO1 , Ana M. CRUZ1 , Miguel A. RODRÍGUEZ1 y Alfred J. POHLAN	
Fuente bibliográfica: Carlos E. OROZCO1 , Ana M. CRUZ1 , Miguel A. RODRÍGUEZ1 y Alfred J. POHLAN. Humedal subsuperficial de flujo vertical como sistema de depuración terciaria en el proceso de beneficiado de café. Disponible en: http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51015a2fc8ef6_Hig.Sanid.Ambient.6.190-196(2006).pdf	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Los humedales artificiales que trabajan como sistema de tratamiento de aguas residuales, necesitan un tratamiento previo, el cual dependerá del tipo y calidad del agua a tratar. Hay que tener especial precaución si las aguas residuales proceden mayoritariamente de la industria, ya que se debe evitar el vertido de compuestos tóxicos del sistema	
Palabras nuevas: Tratamiento de aguas residuales humedales artificiales beneficiado húmedo de café.	
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿Qué pasa si el humedal se utiliza como un tratamiento complementario a otro?	
Análisis interpretativo por el revisor: La aplicación de humedales artificiales puede ayudar a resolver el problema de manejo de desechos líquidos y sólidos domésticos en zonas rurales aisladas de nuestro país, así como áreas urbanas, el sistema es atractivo para estas áreas debido a que no se requiere de conocimiento técnico especializado para su mantenimiento.	
Referencias de interés que cita el autor:	

No aplica.

Tabla 26. ficha bibliográfica No 12

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 12
Título: Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes	
Autor(es): CAMILO EDUARDO ESPINOSA ORTIZ	
Fuente bibliográfica: CAMILO EDUARDO ESPINOSA ORTIZ. Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes. Disponible en: http://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/114/1/FACTIBILIDAD%20DEL%20DISENO%20DE%20UN%20HUMEDAL%20DE%20FLUJO%20SUBSUPERFICIAL%20PARA%2030000%20HABITANTES.pdf	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Los humedales artificiales, al igual que los naturales, pueden reducir una amplia gama de contaminantes del agua tales como: sólidos en suspensión DBO, nutrientes, metales, patógenos y otros productos químicos. Esta eliminación se da por una variedad de procesos que incluyen la sedimentación, filtración, metabolismo microbiano (aeróbico y anaeróbico), absorción de la planta y respiración. La principal diferencia entre un humedal natural y un humedal artificial es que éste último permite el tratamiento de aguas residuales bajo diseños que se basan en objetos específicos de calidad del efluente	
Palabras nuevas: Depuración. Metabolismo microbiano.	
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿Qué tener en cuenta para una población de 3000 personas?	
Análisis interpretativo por el revisor:	

<p>El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: (1) La actividad bioquímica de los microorganismos, (2) El aporte de oxígeno a través de las plantas durante el día y (3) El apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de las plantas, además de funcionar como material filtrante</p>
<p>Referencias de interés que cita el autor:</p> <p>No aplica.</p>

Tabla 27. Ficha bibliográfica No 13

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 13
Título: Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas	
Autor(es): Dra. Heike Hoffmann, Dr.-Ing. Christoph Platzer, Dra.-Ing. Martina Winker, Dra. Elisabeth von Muench.	
Fuente bibliográfica: Dra. Heike Hoffmann, Dr.-Ing. Christoph Platzer, Dra.-Ing. Martina Winker, Dra. Elisabeth von Muench (febrero 2011) Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas. Disponible en: http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/Revisi%C3%B3n%20T%C3%A9cnica%20de%20Humedales%20Artificiales.pdf	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Los humedales artificiales, al igual que los naturales, pueden reducir una amplia gama de contaminantes del agua tales como: sólidos en suspensión DBO, nutrientes, metales, patógenos y otros productos químicos. Esta eliminación se da por una variedad de procesos que incluyen la sedimentación, filtración, metabolismo microbiano (aeróbico y anaeróbico), absorción de la planta y respiración. La principal diferencia entre un humedal natural y un humedal artificial es que éste último permite el tratamiento de aguas residuales bajo diseños que se basan en objetos específicos de calidad del efluente	

<p>Palabras nuevas:</p> <p>Patógenos.</p> <p>Aguas grises.</p>
<p>Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor:</p> <p>¿Qué tipo de material de relleno es el más adecuado?</p>
<p>Análisis interpretativo por el revisor:</p> <p>Los autores estiman que es posible remover hasta un 10% el fósforo por el crecimiento de las plantas; pero esto también depende del tipo de clima, de plantas, de aguas residuales, etc. La capacidad de unión química del fósforo, así como la eficiencia de remoción del fósforo, disminuye durante la vida útil del HA FS. Esto debido a los sitios de adsorción limitados de la arena. Hay dos tipos diferentes de material de relleno: arena o grava. Los sistemas de lecho con grava son ampliamente utilizados en América Latina, África, Asia, Australia y Nueva Zelanda. Los sistemas de lecho con arena tienen su origen en Europa, pero hoy en día son utilizados en todo el mundo. El uso de arena gruesa contribuye a la eficiencia de los procesos de tratamiento, proporcionando la superficie para el crecimiento microbiano y soportando la adsorción y los procesos de filtración. Estos efectos dan una mayor eficiencia al tratamiento, necesitando menos espacio.</p>
<p>Referencias de interés que cita el autor: No aplica.</p>

Tabla 28. Ficha bibliográfica No 14.

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 14
Título: Subsurface Vertical Flow Constructed Wetland for Tertiary Treatment of Effluent	

of Physical-Chemical Process of a Domestic Wastewater Treatment Plant.
Autor(es): Molina-Burgos Judith, Rodríguez-González María Reyes, Jácome-Burgos Alfredo, Suárez-López Joaquín.
Fuente bibliográfica: Molina-Burgos Judith, Rodríguez-González María Reyes, Jácome-Burgos Alfredo, Suárez-López Joaquín. Subsurface Vertical Flow Constructed Wetland for Tertiary Treatment of Effluent of Physical-Chemical Process of a Domestic Wastewater Treatment Plant. Disponible en: http://www.ingenieria.unam.mx/~revistafi/ejemplares/V14N2/V14N2_art07.pdf
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: El tratamiento de las aguas residuales en pequeños núcleos se enfrenta al problema hidráulico de la gran variabilidad de los caudales generados, dándose el caso de que en las noches el caudal sea nulo (cese total de actividades), pero también, que debido a las lluvias los caudales incrementen drásticamente produciendo alteraciones que las tecnologías convencionales son incapaces de resolver; sin embargo, los humedales pueden solucionar eficazmente esta situación.
Palabras nuevas: Tiempo de retención hidráulico. Caudal.
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: Si bien el uso de humedales con plantas esta estudiado, ¿que con un humedal sin plantas?
Análisis interpretativo por el revisor: Los humedales de flujo vertical pueden ser una solución óptima para la depuración de aguas residuales con flujos discontinuos o intermitentes, como es el caso de segundas viviendas, escuelas e incluso reboses de alcantarillado unitario
Referencias de interés que cita el autor: No aplica.

Tabla 29. Ficha bibliográfica No 15.

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 15
Título: Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (hafss) para remoción de metales pesados en aguas residuales	
Autor(es): Islena Yineth Estrada Gallego.	
Fuente bibliográfica: Islena Yineth Estrada Gallego. Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (hafss) para remoción de metales pesados en aguas residuales. Disponible en: http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1833/1/333918E82.pdf	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: La disponibilidad de agua potable de buena calidad es un factor importante para preservar la salud humana y son conocidas las enfermedades causadas por la contaminación de las aguas, que en el pasado afectaron gravemente la población. Actualmente las instalaciones de depuración existentes en la mayoría de los centros urbanos controlan estos problemas, sin embargo, el creciente desarrollo de la sociedad hace aumentar continuamente la cantidad y tipos de fuentes de contaminación ambiental	
Palabras nuevas: Adsorción. Afluente. Acuífero. Bioacumulación.	
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿Con que tipo de contaminante es más eficiente el humedal ?	
Análisis interpretativo por el revisor: Las aguas residuales no tratadas, pueden ocasionar graves problemas ambientales y sanitarios, como infecciones bacterianas, además de mantener vectores y hospedadores. Desde el punto de vista ambiental, la contaminación de las aguas no sólo elimina una buena parte de la vegetación y fauna autóctona acuática, sino que también ocasiona desequilibrios generalizados a todo el ecosistema terrestre que de estas masas de agua depende. El exceso de materia orgánica y nutrientes en el agua (nitrógeno y fósforo) conduce a la eutrofización, es decir, el agotamiento de oxígeno y la muerte de la mayoría de los seres vivos. Los	

metales pesados y otros compuestos tóxicos producen envenenamientos y bioacumulación
Referencias de interés que cita el autor: No aplica.

Tabla 30. Ficha bibliográfica No 16

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 16
Título: Evaluation of a constructed wetland of sub-superficial flow for the treatment of domestic wastewater	
Autor(es): Andrés Suárez, Nikolay Agudelo, Jeimmy Rincón y Nohora Millán.	
Fuente bibliográfica: Andrés Suárez, Nikolay Agudelo, Jeimmy Rincón y Nohora Millán. Evaluation of a constructed wetland of sub-superficial flow for the treatment of domestic wastewater. Disponible en: http://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/download/905/945	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Los humedales naturales presentan cualidades y funciones que benefician al medio ambiente específicamente a la sociedad y a las especies animales. Las funciones físicas que poseen estos sistemas radican en la regulación del ciclo del agua, las funciones químicas apoyan la regulación de ciclos de nutrientes y descomposición de biomasa, y las funciones bioecológicas apuntan a la productividad biológica, estabilidad e integridad de ecosistemas y retención de óxido de carbono.	
Palabras nuevas: Wetland. wastewater. water treatment	
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿Cómo incluir un humedal a procesos residenciales?	
Análisis interpretativo por el revisor:	

<p>El humedal artificial funciona como un sistema diseñado especialmente para el tratamiento de algún tipo de agua residual y puede ser utilizado para mejorar la calidad del agua residual, en el cual, mediante procesos físicos, químicos y biológicos, se permite la degradación de la materia orgánica. Además, estos sistemas son de bajo costo, son de fácil operación y mantenimiento, y su nivel de eficiencia es mayor comparada con los sistemas de tratamiento convencionales.</p>
<p>Referencias de interés que cita el autor: No aplica.</p>

Tabla 31. Ficha bibliográfica No 17.

<p>Fecha de lectura: enero de 2016.</p>	<p>Numero consecutivo de revisión: 17</p>
<p>Título: Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (hafss) para remoción de metales pesados en aguas residuales</p>	
<p>Autor(es): Islena Yineth Estrada Gallego.</p>	
<p>Fuente bibliográfica: Islena Yineth Estrada Gallego. Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (hafss) para remoción de metales pesados en aguas residuales. Disponible en: http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1833/1/333918E82.pdf</p>	
<p>Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: El oxígeno liberado por las raíces de las plantas es de gran importancia en el caso de los humedales con flujo subsuperficial donde el agua residual fluye a través del medio poroso poniéndose en contacto directo con las raíces y rizomas de las plantas, de aquí que en estos sistemas sea importante que las raíces penetren en toda la profundidad del medio</p>	
<p>Palabras nuevas: Juncos. Morfología. Microbiología.</p>	

<p>Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor:</p> <p>¿Cómo depuran las aguas las plantas presentes en los humedales?</p>
<p>Análisis interpretativo por el revisor:</p> <p>La depuración de las aguas residuales en los humedales construidos se lleva a cabo, fundamentalmente, por la presencia de una población microbiana adherida a la superficie de las plantas en contacto con el agua residual y en el caso de los humedales con flujo subsuperficial se adiciona además los microorganismos adheridos al medio soporte. Las plantas de los humedales están morfológicamente adaptadas a crecer en los sedimentos saturados de agua en virtud de los espacios internos de aire que ellas presentan para el transporte del oxígeno desde las hojas hasta las raíces. El extenso sistema de lagunas internas, que ellas contienen normalmente, presentan constricciones a intervalos que le permiten mantener una estructura íntegra y resistir la invasión del agua.</p>
<p>Referencias de interés que cita el autor: No aplica.</p>

Tabla 32. Ficha bibliográfica No. 18.

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 18
Título: Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales	
Autor(es): Oscar Delgadillo Alan Camacho Luis Fernando Pérez Mauricio Andrade	
Fuente bibliográfica: Oscar Delgadillo Alan Camacho Luis Fernando Pérez Mauricio Andrade. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales Disponible en:	

http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf	
<p>Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto:</p> <p>La forma inadecuada cómo se está gestionando y utilizando una gran parte del agua residual hace que esta fuente de agua para riego también se constituya en fuente potencial de varios problemas (salud, contaminación de suelos, aguas subterráneas, eutrofización de cuerpos de agua, etcétera). A pesar de que la gestión de aguas residuales requiere de urgente atención de las autoridades competentes, no es un tema que se atiende de forma prioritaria. Generalmente es abordado ante una fuerte presión o demanda, cuando existen molestias muy grandes de las personas afectadas.</p>	
<p>Palabras nuevas:</p> <p>Escases</p> <p>Contaminación de suelos.</p> <p>Vectores.</p> <p>Proliferación de enfermedades.</p>	
<p>Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor:</p> <p>¿Por qué existe un mal manejo de las aguas residuales en Colombia?</p>	
<p>Análisis interpretativo por el revisor:</p> <p>En países en desarrollo como el nuestro, enfrentaremos una mayor competencia por el acceso al agua en las próximas décadas, debido al crecimiento demográfico, nuevos hábitos de vida y el desarrollo urbano e industrial sin una adecuada planificación. Es decir que se prevé un aumento en la demanda hacia las limitadas fuentes de agua. Así, la búsqueda de fuentes alternativas de agua, sobre todo para la agricultura, sector que demanda un mayor porcentaje, resulta de gran importancia.</p>	
<p>Referencias de interés que cita el autor: No aplica.</p>	

Tabla 33. Ficha bibliográfica No 19

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 19
---	---

Título: Design of vertical subsurface wetland for wastewater treatment at the Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas
Autor(es): Maira María Pérez Villara, Elena Rosa Domínguez, Yaribey M. Gonzalez Rochea, Taimy Jimenez Llano
Fuente bibliográfica: Maira María Pérez Villara*, Elena Rosa Domínguez, Yaribey M. Gonzalez Rochea, Taimy Jimenez Llano. Design of vertical subsurface wetland for wastewater treatment at the Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas Disponible en: http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/291707/380205
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En el ámbito mundial, existe un sin número de estudios que nos proporcionan datos alarmantes acerca del impacto negativo que el hombre ocasiona a los recursos hídricos en todo el planeta, sobre todo en este último siglo, el cual se ha caracterizado por la sobrepoblación y el gran crecimiento tecnológico. La pérdida de la calidad de agua, cada día se acentúa más, debido fundamentalmente a la contaminación por efluentes provenientes de los desechos domésticos que afectan fuentes de abastecimiento de agua. Esto trae como consecuencia la proliferación de enfermedades y el deterioro irreversible del medio ambiente.
Palabras nuevas: Porosidad. Flujo. Adaptación.
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿Cuáles son las condiciones ideales para tener una alta eficiencia en un humedal?
Análisis interpretativo por el revisor: Las condiciones cubanas son propicias para el buen funcionamiento de estos sistemas de tratamiento, por la elevada actividad bacteriana y productividad biológica, mejorando ostensiblemente el desempeño de los mismos.
Referencias de interés que cita el autor: No aplica.

Tabla 34. Ficha bibliográfica No 20.

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 20
Título: Influencia del tipo y granulometría del sustrato en la depuración de las aguas residuales por el sistema de humedales artificiales de flujo vertical y horizontal	
Autor(es): Juan Ramón Pidre Bocardo.	
Fuente bibliográfica: Juan Ramón Pidre Bocardo. Influencia del tipo y granulometría del sustrato en la depuración de las aguas residuales por el sistema de humedales artificiales de flujo vertical y horizontal Disponible en: http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/15878/Tes_2012_06.pdf?sequence=1	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: La depuración de las aguas residuales urbanas es un proceso asumido y aceptado ampliamente por la sociedad española del siglo XXI. Y es que es de todo conocido que el vertido de las aguas residuales urbanas sin depurar constituye el principal foco de contaminación de nuestras masas de aguas, tanto de las superficiales como de las subterráneas. Por ello, independientemente del origen y características de las aguas residuales, éstas deben ser tratadas adecuadamente, tanto si su destino final es el vertido como si van a ser reutilizadas.	
Palabras nuevas: Depuración. Vertimiento. Aguas residuales.	
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿Cuál es la influencia de diferentes tipos de lecho filtrante en los humedales?	
Análisis interpretativo por el revisor: Cuando se habla sobre la contaminación y sus efectos sobre los ecosistemas acuáticos, es preciso puntualizar que su respuesta es distinta según se trate de una contaminación orgánica, de un aporte extraordinario de nutrientes inorgánicos, de una contaminación por patógenos, o por moléculas sintéticas o tóxicos, o contaminación térmica o mecánica.	

Respecto a la contaminación por vertidos de aguas residuales urbanas no depuradas estamos refiriéndonos principalmente a los tres primeros grupos (materia orgánica, nutrientes inorgánicos y patógenos).
Referencias de interés que cita el autor: No aplica.

Tabla 35. Ficha bibliográfica No 21.

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 21
Título: Experiencias con humedales de flujo subsuperficial en el saneamiento rural de Galicia	
Autor(es): Alfredo Jácome Burgos.	
Fuente bibliográfica: Alfredo Jácome Burgos. Experiencias con humedales de flujo subsuperficial en el saneamiento rural de Galicia Disponible en: http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896711525.pdf	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Los humedales artificiales de flujo subsuperficial son sistemas en los que ocurre un número importante de procesos físicos, químicos y biológicos interrelacionados, gracias a los cuales constituyen una opción ambientalmente sostenible y de bajo coste para el tratamiento secundario y avanzado de aguas residuales de pequeños núcleos en áreas rurales.	
Palabras nuevas: Agua residual doméstica. Humedal artificial. Nitrificación. Tratamiento de afino.	
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿Qué eficiencia presenta el humedal?	
Análisis interpretativo por el revisor:	

<p>Los humedales de flujo vertical pueden ser una solución óptima para la depuración de aguas residuales con flujos discontinuos o intermitentes, como es el caso de segundas viviendas, escuelas, e incluso reboses de alcantarillado unitario.</p> <p>El tratamiento de las aguas residuales en pequeños núcleos se enfrenta al problema hidráulico de la gran variabilidad de los caudales generados, dándose el caso de que en las noches el caudal sea nulo, pero también que debido a las lluvias los caudales incrementen drásticamente produciendo alteraciones que las tecnologías convencionales son incapaces de resolver, y que sin embargo los humedales pueden solucionar eficazmente.</p>
<p>Referencias de interés que cita el autor: No aplica.</p>

Tabla 36. Ficha bibliográfica No 22.

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 22
Título: Subsurface Flow Wetland as Biofilters for Wastewater in Colombia	
Autor(es): Diego Alonso Rivera Vergara.	
Fuente bibliográfica: Diego Alonso Rivera Vergara. Disponible en: http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896711525.pdf	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En Colombia se experimenta actualmente una disminución continua, casi exponencial, de la oferta del recurso hídrico, debido fundamentalmente al vertimiento de aguas residuales de	

<p>tipo industrial, doméstico y a los procesos de degradación de las cuencas, sumándose a esto la mala aplicación de la normatividad vigente en el país y la generación de contaminantes por la extracción minera. La depuración de estos afluentes hídricos es un reto ambiental y económico que se proyecta con el paso de los días como una de las actividades con más importancia en el país, donde se apuntan metas para el desarrollo e implementación de tecnologías limpias que contribuyan a la mitigación de este tipo de impactos</p>
<p>Palabras nuevas: Decontamination. Biofilters, sewage. Subsurface flow wetlands.</p>
<p>Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿Aumenta la eficiencia con biofiltros en el sistema?</p>
<p>Análisis interpretativo por el revisor: La disponibilidad de agua potable de buena calidad es un factor importante para preservar la salud humana, son demasiadas las enfermedades causadas por la contaminación de las aguas que en el pasado afectaron gravemente a la población. Actualmente, las instalaciones para la depuración existentes en la mayoría de los centros urbanos controlan estos problemas, sin embargo, el creciente desarrollo de la sociedad hace necesario aumentar continuamente la cantidad y los tipos de fuentes de contaminación ambiental</p>
<p>Referencias de interés que cita el autor: No aplica.</p>

Tabla 37. Ficha bibliográfica No 23

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 23
Título: Desarrollo de un humedal artificial piloto con especies no convencionales para mitigar la contaminación generada por el vertimiento de aguas residuales provenientes del centro de	

visitantes del parque nacional natural amacayacu – amazonas.
Autor(es): Diego Alejandro García Rubio, Diana Carolina Leal Correa.
Fuente bibliográfica: Diego Alejandro García Rubio, Diana Carolina Leal Correa. Desarrollo de un humedal artificial piloto con especies no convencionales para mitigar la contaminación generada por el vertimiento de aguas residuales provenientes del centro de visitantes del parque nacional natural amacayacu – amazonas. Disponible en: http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14844/T41.06%20G165d.pdf?sequence=1
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tales, que sean suficientes para mantener condiciones saturadas. Suelen tener aguas con profundidades inferiores a 60 cm. con plantas emergentes como espadañas, carrizos y juncos. La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar
Palabras nuevas: Sustratos. Sedimentos.
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿Cómo funcionan los diferentes humedales?
Análisis interpretativo por el revisor: A los sistemas FWS normalmente se les aplica agua residual pre-tratada en forma continua y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente. Los sistemas de flujo libre también se pueden diseñar con el objetivo de crear nuevos hábitats para la fauna y flora o para mejorar las condiciones de humedales naturales próximos. Los sistemas de flujo subsuperficial se diseñan con el objeto de proporcionar tratamiento secundario o avanzado y consisten en canales o zanjas excavadas y rellenos de material granular, generalmente grava en donde el nivel de agua se mantiene por debajo de la superficie de grava. Las mismas especies vegetales se usan en los dos tipos de humedales artificiales.

Referencias de interés que cita el autor: No aplica.

Tabla 38. Ficha bibliografía No 24.

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 24
Título: DISEÑO E INSTALACIÓN DE SISTEMAS AUTÓNOMOS DE DEPURACIÓN.	
Autor(es): Diego Alejandro García Rubio, Diana Carolina Leal Correa.	
Fuente bibliográfica: Diego Alejandro García Rubio, Diana Carolina Leal Correa. Desarrollo de un humedal artificial piloto con especies no convencionales para mitigar la contaminación generada por el vertimiento de aguas residuales provenientes del centro de visitantes del parque nacional natural amacayacu – amazonas. Disponible en: http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14844/T41.06%20G165d.pdf?sequence=1	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: El consumo de agua con una concentración alta de nitratos tiene efectos nocivos sobre la salud. Los nitratos ingeridos son transformados en nitritos en el sistema digestivo y éstos transforman la hemoglobina en metahemoglobina, incapaz de transportar oxígeno. Aunque la formación de metahemoglobina es un proceso reversible puede llegar a provocar la muerte, especialmente en niños. Asimismo, los nitratos pueden formar nitrosaminas y nitrosamidas, compuestos potencialmente cancerígenos. Ante estos riesgos los sistemas de saneamiento, además de prevenir la contaminación biológica, deben prevenir la contaminación por nitratos. Por ello, para las zonas más sensibles a la contaminación de acuíferos (zonas vulnerables a nitratos, perímetros de protección de pozos de abastecimiento urbanos y zonas con vulnerabilidad del acuífero alta), se ha optado por establecer normas más restrictivas, marcando un límite máximo de concentración de nitrógeno total en el efluente depurado.	
Palabras nuevas: Autónomo. Efluente. Depuración.	
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor:	

¿En que influye la eutrofización en la eficiencia de un humedal?
<p>Análisis interpretativo por el revisor:</p> <p>Los sistemas de depuración son instalaciones que depuran las aguas residuales, mediante la realización de una o más fases de tratamiento conjuntas. Pueden estar constituidos por dispositivos prefabricados, equipos compactos prefabricados y sistemas naturales realizados en obra. Los sistemas de depuración se pueden agrupar en las siguientes categorías: 1. Dispositivos de pretratamiento como: rejas de desbaste, separadores de grasas y tanques de pretratamiento. 2. Equipos de depuración compactos como: tanque Imhoff y fosa séptica (realizan un tratamiento primario); o como fosa séptica con filtro percolador y fosa de oxidación total (realizan un tratamiento primario más un tratamiento secundario). Además, pueden llevar integrado un dispositivo de pretratamiento. 3. Sistemas de depuración naturales. Realizan un tratamiento secundario, por lo tanto, deben estar precedidos por un dispositivo de pretratamiento más un equipo de depuración compacto que realice al menos un tratamiento primario. 4. Dispositivos de desinfección.</p>
<p>Referencias de interés que cita el autor: No aplica.</p>

Tabla 39. Ficha bibliográfica No 25.

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 25
Título: DISEÑO DE SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL SANEAMIENTO DEL AGUA DE LA COMUNIDAD DE COCHAPATA DEL CANTÓN NABÓN – AZUAY – ECUADOR	
Autor(es): ALEXANDRA GUANUCHI QUITO.	
Fuente bibliográfica: ALEXANDRA GUANUCHI QUITO. DISEÑO DE SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL SANEAMIENTO DEL AGUA DE LA COMUNIDAD DE COCHAPATA DEL CANTÓN NABÓN – AZUAY – ECUADOR Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/36506/TRABAJO%20DE%20FIN%20DE%20M%	

C3%81STER%20Humedales.pdf?sequence=1	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto:	
La fauna que acompaña a los humedales artificiales esta compuesta por diferentes especies: protozoos en grandes cantidades, insectos, y en menor medida aves, peces, anfibios y reptiles. Los insectos sirven de alimento a las aves y peces, pero algunos pueden ser plagas de la vegetación como los pulgones y ácaros. Los mosquitos son un problema en sistemas que presentan superficie libre de agua	
Palabras nuevas:	
Fauna.	
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor:	
¿En que influye la fauna presente en el humedal en la eficiencia del mismo?	
Análisis interpretativo por el revisor:	
En relación a otros sistemas de depuración tecnológicos los humedales artificiales tienen la ventaja de bajo coste, mantenimiento sencillo. Eficaz capacidad depuradora de aguas residuales con contaminación principalmente orgánica y bajo impacto visual de las instalaciones, porque la vegetación aporta una apariencia natural. No requiere mano de obra altamente tecnificada y no se puede usar para el tratamiento de aguas industriales con alta contaminación inorgánica.	
Referencias de interés que cita el autor: No aplica.	

Tabla 40, Ficha bibliográfica No 27

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 26
Título: HUMEDALES ARTIFICIALES; UNA PROPUESTA PARA LA MITIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN HÍDRICA DE LA QUEBRADA LA NUTRIA, DE LOS CERROS ORIENTALES DE BOGOTÁ D.C	
Autor(es): AURA RAQUEL ZAPATA PALACIO.	
Fuente bibliográfica: AURA RAQUEL ZAPATA PALACIO. HUMEDALES ARTIFICIALES;	

<p>UNA PROPUESTA PARA LA MITIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN HÍDRICA DE LA QUEBRADA LA NUTRIA, DE LOS CERROS ORIENTALES DE BOGOTÁ D.C Disponible en:</p> <p>http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1930/Zapata_Palacio_Aura_Raque_l_2014.pdf?sequence=1</p>
<p>Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto:</p> <p>Debido a la contaminación hídrica que presenta la Quebrada La Nutria de los Cerros Orientales de Bogotá, se propone realizar en el Parque Ecológico Distrital de Montaña Entre Nubes, la construcción de 6 pozos de contención a forma de humedales artificiales subsuperficial vertical, que por su topografía facilitará no solo su incorporación con el ecosistema natural sino también la entrada y salida natural del agua a los pozos, reduciendo costos de inversión y funcionamiento para descontaminar las aguas, utilizando principalmente el Buchón de Agua (<i>Eichhornia crassipes</i>), considerada como una de las macrófitas más invasoras para lograr un su control, regulación y utilización, como materia para compost que garantizará su desempeño.</p>
<p>Palabras nuevas:</p> <p>Humedales artificiales.</p> <p>Aguas residuales.</p> <p>Quebrada.</p> <p>Macrófitas.</p> <p>Buchón de agua.</p>
<p>Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor:</p> <p>¿Qué tipo de planta es la más adecuada para un humedal artificial?</p>
<p>Análisis interpretativo por el revisor:</p> <p>La actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante eliminan materiales disueltos y suspendidos en el agua residual y biodegradan materia orgánica hasta mineralizarla y formar nuevos organismos.</p>
<p>Referencias de interés que cita el autor: No aplica.</p>

Tabla 41. Ficha bibliográfica No 27.

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 27.
Título: Humedales de flujo subsuperficial como biofiltros de aguas residuales en Colombia.	
Autor(es): Diego Alonso Rivera Vergara.	
Fuente bibliográfica: Diego Alonso Rivera Vergara. Disponible en: http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896711525.pdf	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En Colombia se experimenta actualmente una disminución continua, casi exponencial, de la oferta del recurso hídrico, debido fundamentalmente al vertimiento de aguas residuales de tipo industrial, doméstico y a los procesos de degradación de las cuencas, sumándose a esto la mala aplicación de la normatividad vigente en el país y la generación de contaminantes por la extracción minera. La depuración de estos afluentes hídricos es un reto ambiental y económico que se proyecta con el paso de los días como una de las actividades con más importancia en el país, donde se apuntan metas para el desarrollo e implementación de tecnologías limpias que contribuyan a la mitigación de este tipo de impactos	
Palabras nuevas: Decontamination. Biofilters, sewage. Subsurface flow wetlands.	
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿Aumenta la eficiencia con biofiltros en el sistema?	
Análisis interpretativo por el revisor: La disponibilidad de agua potable de buena calidad es un factor importante para preservar la salud humana, son demasiadas las enfermedades causadas por la contaminación de las	

aguas que en el pasado afectaron gravemente a la población. Actualmente, las instalaciones para la depuración existentes en la mayoría de los centros urbanos controlan estos problemas, sin embargo, el creciente desarrollo de la sociedad hace necesario aumentar continuamente la cantidad y los tipos de fuentes de contaminación ambiental
Referencias de interés que cita el autor: No aplica.

Tabla 42. Ficha bibliográfica No. 28.

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 28
Título: ESTUDO COMPARATIVO DA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM BANHADOS CONSTRUÍDOS DE FLUXO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL	
Autor(es): Jorge Ignacio Montoya. Leonardo Ceballos, Juan Carlos Casas, Jordi Morató.	
Fuente bibliográfica: Jorge Ignacio Montoya. Leonardo Ceballos, Juan Carlos Casas, Jordi Morató, ESTUDO COMPARATIVO DA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM BANHADOS CONSTRUÍDOS DE FLUXO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372010000200007	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto:	

<p>Los sistemas de tratamiento de aguas residuales en casi la totalidad de los países de América Latina están muy distantes de lo requerido en materia ambiental. Las subregiones latinoamericanas presentan diferencias muy marcadas tanto en el aspecto socioeconómico como en sus características físicas, ambientales y tecnológicas. Colombia, en general, cuenta con sistemas para tratar el 20 % de las aguas residuales producidas en el área urbana, pero sólo se da efectivamente en un 10 %. Esta situación, comparada con la de 1990 cuando se trataba el 5 %, puede entenderse como un avance en el tratamiento de efluentes urbanos, pero aún resta camino por recorrer en este aspecto. En la actualidad muchas de las fuentes y de los efluentes se están contaminando por materia orgánica.</p>
<p>Palabras nuevas: constructed wetland macrophytes organic matter.</p>
<p>Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿Qué especie de planta funciona mejor y que condiciones?</p>
<p>Análisis interpretativo por el revisor: Los humedales construidos, en particular los de sistemas de flujo subsuperficial horizontales, se han desarrollado prioritariamente para remover materia orgánica de aguas residuales domésticas. La depuración de aguas residuales en estos sistemas se presenta en lo fundamental debido a procesos biológicos asociados con las raíces de las plantas y medio granular</p>
<p>Referencias de interés que cita el autor: No aplica.</p>

Tabla 43. Ficha bibliográfica No 29.

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 29
Título: phytodepuration águas residuais domésticas com poaceas: <i>brachiaria mutica</i> , <i>panicum maximum</i> e <i>pennisetum purpureum</i> em popayán, cauca	
Autor(es): Giovanni Hernán Palta Prado, Sandra Morales Velasco.	

<p>Fuente bibliográfica: Giovanni Hernán Palta Prado, Sandra Morales Velasco. Domestic wastewater phytodepuration with poaceas: brachiaria mutica, panicum maximum and pennisetum purpureum in popayán, cauca. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612013000200007&script=sci_arttext</p>
<p>Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En la actualidad existen diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales; van desde primarios, que mejoran las características físicas, hasta terciarios, que permiten el reúso del agua en diferentes actividades del hombre. Entre las tecnologías más utilizadas se hallan los humedales artificiales o Wetlands (Superficiales – Subsuperficiales) donde las especies vegetales frecuentemente utilizadas son Eichhornia crassipes, Lemna minor y Pistia stratiotes, Elodea canadensis, Cerato phyllumdemersum, Alternanthera philoxeroides y las especies emergentes Scirpus l., Juncos, Sagittaria sp., y Phragmites australis</p>
<p>Palabras nuevas: Wetlands Subsurface flow Removal</p>
<p>Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿Qué está haciendo Colombia con sus aguas servidas?</p>
<p>Análisis interpretativo por el revisor: En Colombia, aproximadamente 300 municipios no realizan depuración de las aguas que se están consumiendo y 450 no tienen planta de tratamiento, el caso crítico se presenta en la cuenca del Magdalena-Cauca (25% del área territorial), con un 70% de la población y sólo 11 % de la oferta hídrica del país, ocasionando que cerca de 1300 cuerpos de agua están siendo contaminados por ser los receptores de los vertimientos municipales; lo anterior es muy preocupante ya que Colombia, es un país con gran potencial hídrico y si no se cuida tanpreciado recurso, podría terminar con problemas de abastecimiento de agua potable.</p>
<p>Referencias de interés que cita el autor: No aplica.</p>

Tabla 44. Ficha bibliográfica No. 30

Fecha de lectura: enero de 2016.	Numero consecutivo de revisión: 30
Título: ESTUDO COMPARATIVO DA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM BANHADOS CONSTRUÍDOS DE FLUXO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL USANDO TRES ESPÉCIES DE MACRÓFITAS	
Autor(es): Jorge Ignacio Montoya. Leonardo Ceballos, Juan Carlos Casas, Jordi Morató.	
Fuente bibliográfica: Jorge Ignacio Montoya. Leonardo Ceballos, Juan Carlos Casas, Jordi Morató.. ESTUDO COMPARATIVO DA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM BANHADOS CONSTRUÍDOS DE FLUXO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL USANDO TRES ESPÉCIES DE MACRÓFITAS Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372010000200007	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Los sistemas de tratamiento de aguas residuales en casi la totalidad de los países de América Latina están muy distantes de lo requerido en materia ambiental. Las subregiones latinoamericanas presentan diferencias muy marcadas tanto en el aspecto socioeconómico como en sus características físicas, ambientales y tecnológicas. Colombia, en general, cuenta con sistemas para tratar el 20 % de las aguas residuales producidas en el área urbana, pero sólo se da efectivamente en un 10 %. Esta situación, comparada con la de 1990 cuando se trataba el 5 %, puede entenderse como un avance en el tratamiento de efluentes urbanos, pero aún resta camino por recorrer en este aspecto. En la actualidad muchas de las fuentes y de los efluentes se están contaminando por materia orgánica.	
Palabras nuevas: chemical oxygen demand biochemical oxygen demand wastewater	
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor: ¿Qué especie de planta funciona mejor y que condiciones?	

Análisis interpretativo por el revisor:

Los humedales construidos, en particular los de sistemas de flujo subsuperficial horizontales, se han desarrollado prioritariamente para remover materia orgánica de aguas residuales domésticas.

La depuración de aguas residuales en estos sistemas se presenta en lo fundamental debido a procesos biológicos asociados con las raíces de las plantas y medio granular

Referencias de interés que cita el autor:

No aplica.